电脑学习机上机指导系列丛书之七

电脑作曲

于　春　张新莲　编著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry

内 容 提 要

本书是电脑学习机上机指导系列丛书(共十册)的第七册。重点介绍了键控电脑作曲,BASIC 程序作曲、6527CPU 发声机理、机器语言程序作曲,游戏音乐详析等。

书　　名:电脑作曲
著　　者:于春　张新莲
责任编辑:施玉新
特约编辑:董　玲
印 刷 者:北京市顺义李史山胶印厂印刷
出版发行:电子工业出版社出版、发行　URL:http://www.phei.co.cn
北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编 100036　发行部电话:68214070
经　　销:各地新华书店经销
开　　本:787×1092 1/32　印张:7.5　字数:162 千字
版　　次:1997 年 5 月第 1 版　1997 年 5 月第 1 次印刷
印　　数:4000 册
书　　号:ISBN 7-5053-3531-6/TP·1427
定　　价:10 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换
版权所有·翻印必究

前　言

家庭电视游戏业的发展，突飞猛进、一日千里。随着游戏机的普及，各种以任天堂系列 8 位游戏机为主机、配备键盘而构成的“普及型家庭电脑学习机”也迅速推出。目前生产厂已有三十余家，产品品种近百个。较有名的品牌有：中山小霸王、兰州金字塔、北京裕兴以及深、广一带的金钥匙、和声、科达、科特、美猴王、宏源、智源等，产品档次也已拉开了低、中、高三个级别。有关资料表明，目前我国电脑学习机的拥有量已逾 800 万台。

现在，学习机的功能日趋完善，实用性越来越强。除小霸王还继续维持其寓教于乐的游戏特点以外，各大生产厂家都向提高学习机的实用性进军。其工作系统已由从日本引进时的单一的 F BASIC（整数）语言发展到中文 BASIC（浮点）语言、LOGO 语言，汇编语言、中文编辑、文字处理等系统。就硬件来说，94 年初裕兴率先在其 YX4 型机上推出标准微机 101 键盘，随后和声、科达、金钥匙等立即推出了仿 101 键盘的产品，小霸王、金字塔也于 10 月份推出了仿 101 键盘的 586 和 9588 产品；金字塔在 94 年率先推出了外接中华机 140K 容量的 5·25 英寸软盘驱动器之后，95 年新春伊始裕兴又推出了与微机完全兼容的 3·5 英寸标准软驱。从应用软件来看，发展更加迅速，已推出了小学、中学乃至高中的各年级辅助教学软件，特别是裕兴推出的仿“金山北大 WPS6·0”的“裕兴 WPS 文字处理系统”，不仅操作与微机一致，而且文件可与微机相互交流。从而，使学习机的档次又升一级而迈进了电脑阶

层，使它变成了名符其实的“家庭电脑”(Family Computer)，完全可以充当现代家庭管理、办公自动化管理的廉价微机。

为了使电脑初学者能够迅速入门，进而登堂入室。我们依据循序渐进的原则，编写了这一套丛书。本套丛书分：

操作入门
文字处理
游戏 BASIC 语言
中文 BASIC 语言
LOGO **语言**
汇编语言
电脑作曲
电脑绘图
BASIC **语言程序集**
硬件与维修
共十册。

本书是丛书的第七册。为满足不同读者层次的需要，本书首先从乐器声学原理出发，介绍了乐器声学的一般常识，继而系统地阐述了 6527CPU 的发声工作机理，介绍了 PSG 音源发生器和各个发声工作参数的设置、使用。其次，分别从键控电脑作曲、BASIC 程序作曲、机器语言作曲三个层次，讨论了电脑作曲的一般方法、步骤。并通过较多的示范实例，演示了各种作曲方法的具体操作。第三，以任天堂经典游戏《大赛车》的音乐演奏程序为例，进行了详细地分析讨论。最后，完整地移植了日本动画片《铁臂阿童木》的主题歌《阿童木之歌》到《大赛车》游戏中，作为比赛背景音乐伴奏。

相信通过展现原汁原味的任天堂游戏音乐程序和完整的音乐旋律移植操作，必然有助于读者对任天堂游戏音乐编程

奥密的探索，有助于读者进一步掌握 6527 机器语言的知识，有助于提高读者编写任天堂游戏的技能。

推动祖国的游戏事业发展，是每一个业内同仁义不容辞的责任；普及电脑知识教育，更是全民族的神圣职责。若能为这伟大的事业添一砖一瓦，则作者幸甚！读者幸甚！

本书由苏子栋教授审定，在编写过程中，韩玉文、李观勇、于勇、于腾潇等同志作了大量的工作，在此一并表示感谢。

编　者

丛书学习说明

本丛书是面向电脑初学者的科学普及读物。丛书的编写结构安排，从初学者最易接受的角度开始，顺着初学者的学习兴趣循序渐进、逐步深入，引导初学者在不觉中步入电脑的殿堂。

丛书的前五册为基础篇，重点介绍了电脑基础知识、电脑学习机的选购常识以及键盘、软盘驱动器、打印机等微机外设的基础知识；常用汉字输入法和中文文字处理操作方法；F BASIC、中文 BASIC、LOGO 三种计算机语言的指令及编程方法。

丛书的后五册为提高篇，重点讨论了 6527CPU 工作系统的特点、汇编语言的指令及编程方法；音乐板、PLAY 指令、机器语言三种电脑作曲方法；键控、BASIC 指令、机器语言三种绘图方法；精选了 60 个 F BASIC、中文 BASIC 语言程序；最后讨论了电脑学习机的硬件结构原理和基本维修方法。

整套丛书内容连贯，但又独立成章。十本书读者可依序学习，也可在学习了丛书之一《操作入门》后，根据自己的兴趣和爱好挑选学习。如需要进行文字处理的用户，只要再学习丛书之二就可胜任。爱好音乐的朋友可继续学习丛书之七，就可令电脑演奏音乐。若要进一步提高品位，还须学习丛书之五，使用机器语言编程才能演奏美妙的旋律；电脑绘图爱好者，则要在丛书之三、之八上下功夫。许多朋友在学习了游戏 BASIC 语言后，想自己动手编写任天堂游戏程序及各种实用程序，那么丛书之九提供了各种类型的程序范例供你参考。

本丛书的撰写宗旨就是辅导读者掌握电脑的基础知识，有深造要求的朋友，请继续参阅任天堂游戏理论书籍《FBAISC 语言与编程技巧》、《电脑游戏机硬件与编程特技》、《任天堂游戏编程探密》。

目　录

第一章　乐器声学概述 …… (1)

第一节　声音、语音、乐音和噪音 …… (1)
第二节　音名、音组、音区与音程 …… (4)
第三节　音律与和弦 …… (10)
第四节　乐音的特性和形成 …… (16)
第五节　音符、调号与节拍 …… (22)

第二章　键控电脑作曲 …… (26)

第一节　F BASIC 的音乐板 …… (26)
第二节　按键、输入音符与发音的对应关系 …… (28)
第三节　谱曲与演奏操作 …… (29)
第四节　谱曲示范 …… (33)

第三章　BASIC 程序作曲 …… (35)

第一节　PLAY 指令 …… (35)
第二节　演奏程序的编写 …… (40)
第三节　名曲欣赏 …… (48)
第四节　谱曲练习 …… (57)

第四章　6527CPU 发声机理 …… (61)

第一节　可编程音响发生器 …… (61)
第二节　PSG 音源的控制参数 …… (62)

第五章　机器语言程序作曲 …… (71)

第一节　BASIC 发声控制程序简介 …… (71)
第二节　效果音响数据与发声工作单元 …… (87)
第三节　$FC 单元控制发声过程分析 …… (89)
第四节　$FE 单元控制发声过程分析 …… (101)
第五节　$FF 单元控制发声过程分析 …… (107)
第六节　系统发声工作过程小结 …… (112)
第七节　系统效果音响的调用 …… (115)
第八节　系统背景音乐的调用 …… (119)
第九节　音乐旋律演奏程序的编写 …… (121)

第六章　任天堂游戏音乐详析 …… (131)

第一节　《大赛车》的音响及演奏程序 …… (131)
第二节　《大赛车》音响处理程序简介 …… (153)
第三节　发声准备处理程序分析 …… (153)
第四节　发声种类控制程序分析 …… (154)
第五节　发声赋值程序分析 …… (155)
第六节　旋律一的发声数据采集和旋律结构 …… (175)
第七节　旋律二的发声数据采集与旋律结构 …… (192)
第八节　旋律三的发声数据采集与旋律结构 …… (195)
第九节　效果音响一～六的发声数据采集与旋律结构
…… (199)
第十节　《大赛车》旋律演奏方法的应用 …… (211)

第一章　乐器声学概述

一讨论“作曲”，就要涉及到“乐器声学”中的许多概念，如：音名、音程、音调、音律、音色、音形等术语。只有了解它们、熟悉它们，讨论作曲才有共同语言，才能简化表述、方便理解。

本章将分五节简单介绍声音、语音、乐音、噪音、音名、音组、音区、音程、音律、和弦、音高、音值、音量、音色、音形、音符、调号、节拍等乐器声学中的基本概念。这些内容是后面各章节讨论的基础，请予以高度重视。

第一节　声音、语音、乐音和噪音

一、声音与语音

什么叫声音？

这似乎是一个非常简单的问题，可能许多朋友会脱口而出：“耳朵听到的一切就是声音”。

这样回答固然不错，但嫌笼统。它并没有说明白声音的特点和本质。

那么，究竟什么是“声音”呢？

有人给它下了这样一个定义：“有调的声”谓之“音”，“无调的音”谓之“声”。

这决不是作文字游戏。上面两句话道出了“声音是由有

调、无调两个因素构成的”本质。

语音分析学认为：声音是由无调的“子音”（辅音）和有调的“母音”（元音）组成的。子音是气流摩擦受阻或受冲击而产生的，它没有可供辨别的音高，属于非周期性振动，很难持续（即使持续也不悦耳）；母音是由声带振动、口腔共鸣而产生的，它是一种规律性很强的周期性持续振动，给人以悦耳的感觉。

在实际的语言现象中，子音和母音都是必不可少的因素。子音的运用决定了语言的个性特点和清晰度，没有子音，任何语言都不可能清晰流畅地表述。母音的运用则决定了语音的实际强度，表达着讲话者的内心情感。

二、乐音与噪音

绝大多数的子音是由“噪音”构成的，而所有的母音都是由“乐音”构成的。以上，之所以涉及语音学，主要原因有两个：第一，任何器乐的演奏都是对人类歌唱的模拟和艺术再造；第二，歌唱性“语言”中包含了比任何乐器更为丰富的音乐“材料”或“素材”。因此，音乐也是由噪音和乐音构成的。

物体的有规则、周期性振动所发出的音就是“乐音”，如钢琴、笛子、小提琴等乐器发出的声音。因为乐音有明确的音高，所以能构成各种曲调、和声等音乐表现。

物体的无规则、非周期性振动所发出的音就是“噪音”，如锣、钹、梆子等打击乐器所发出的声音。由于噪音没有明确的音高，不能用于构成曲调、和声等音乐表现，所以通常用于加强节奏力度、丰富音色变化、制造烘托气氛等场合。

因此，在器乐演奏中，噪音和乐音是相辅相成的两个重要因素。

三、音频与音域

声音是由于物体的振动而产生的，物体在每秒钟振动的重复次数就是声音的频率，单位为“周/秒”，用符号“c/s”或“Hz”表示。

人耳能听到的频率范围约在 16～20000Hz 之间，通常把这一频率范围叫做“音频”。高于音频范围的振动频率称为“超声”；低于音频范围的振动频率则称为“次声”。超声和次声都是人耳感觉不到的声音。

音乐中所使用的频率范围有个专用名词叫作“音域”，音域一般取 16～7000Hz。较常用的音域约为 27.5～4186Hz，相当于现代钢琴的全部音域。而最常用到的、最富有表现力的一段音域约在 65～1046Hz 左右。各种传统乐器的音域范围如图 1－1 所示。

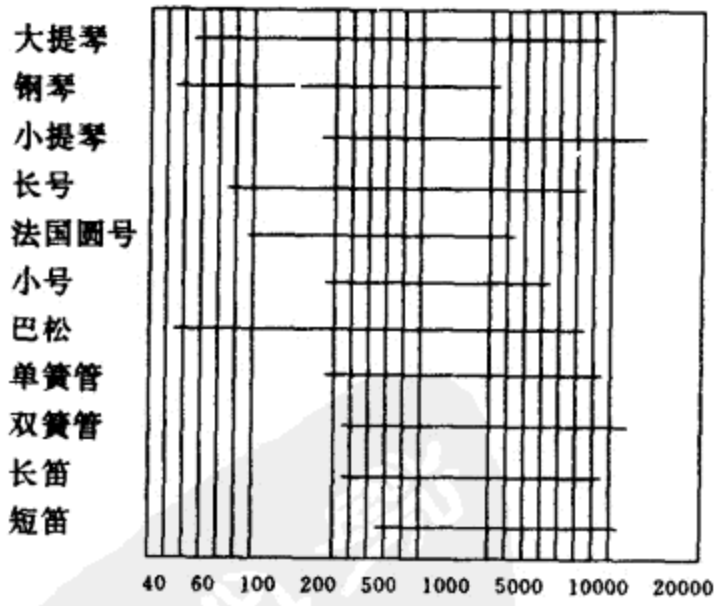


图 1－1　各种传统乐器的音域范围示意图

第二节　音名、音组、音区和音程

一、音名

顾名思义，“音名”就是音的名称。

基本音名只有 7 个，称为基本“音级”，分别用“C、D、E、F、G、A、B”表示，每个符号表示着各自的固定音高。键盘乐器上的白键就是基本音级，其分布如图 1－2 所示。

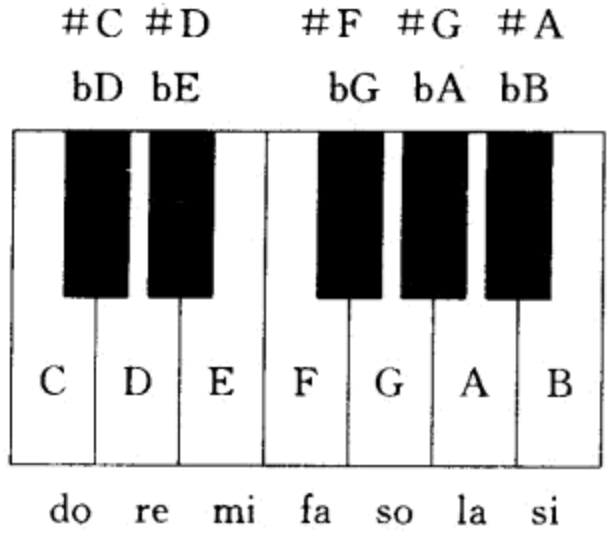


图 1－2　七个基本音级排列图

将基本音级升高半音后得到的音称为“升音”，用升音记号“＃”表示。七个升音符号分别为“＃C、＃D、＃E、＃F、＃G、＃A、＃B”(见图 1－2)。

将基本音级降低半音后得到的音称为“降音”，用降音记号“b”表示。七个降音符号分别为“bC、bD、bE、bF、bG、bA、bB”(见图 1－2)。

基本音级升高或降低后的音叫做变化音级。键盘乐器上的黑键都是变化音级。

音乐中，音和音之间的最小音高单位是“半音”。键盘乐器中相邻两个琴键之间构成半音关系（包括黑键），如图1－2中“C－#C、E－F、B－C”等。两个半音构成的音叫全音，也就是键盘乐器上隔开一个琴键的两个按键，如“C－D、F－G、bA－bB”等。因此，基本音“C”的升音“#C”也可以作为基本音“D”的降音“bD”；基本音“A”的升音“#A”也可以作为基本音“B”的降音“bB”，两种音名的音高是一样的。

为便于叙述，对每一个基本音名都安排了“唱名”，分别用“do、re、mi、fa、so、la、si ”表示（对应关系见图1－2）。但要注意，唱名和基本音级之间的关系不是固定不变的。当把唱名“do”对应基本音“C”时，是C调的乐曲；当唱名“do”对应基本音“D”时，将变为D调乐曲。因此唱名所对应的基本音是由音调决定的。

二、音的分组

音乐中所使用的、具有固定音高的全部音级将构成一个体系，一般叫做“乐音体系”。

乐音体系中的音，按照上行或下行的次序排列起来，称为“音列”。

现代钢琴一般包括88个不同音高的音，即包括了乐音体系中所有的音，除此以外的音一般不用。

乐音体系中所有的音具有固定音高并按次序排列，这么多高低不同的音，仅用七个音名表示，显然将重复循环使用这七个基本音级名称。为了区分这些音名相同而音高不同的各个音级，人们将音列分成许多组，这就是音的分组，一般称为“音组”。

键盘乐器上琴键的排列总是以5个黑键、7个白键共12个按键作重复的，故把它们作为一组。因此，键盘上将同时存在多个音组，每个音组中都有“C、#C、D、……、B”键。为了区别各组中相同的音名，人们又对每个音组进行了命名，图1—3示出了88键钢琴键盘的分组及命名情况。

由图1—3可见，88键钢琴键盘中有7个完整的音组、再加上高音端一个键、低音端3个键，共涉及9个音组。人们把位于音列中央的一组称为“小字一组”，标记是：小写字母、在其右上方加数字“1”表示，如“c1、d1、……”等。

比小字一组高的一组，定名为“小字二组”，也是以小写字母、在其右上方加数字“2”表示，如“c2、d2、……”等。这样依次排下去，最后一个键为“小字五组”，用“c5”表示。

比小字一组低的各组，分别定名为“小字组”、“大字组”、“大字一组”、“大字二组”。相应地大字组也以大写字母、在其右上方加数字表示，如“C1、D1、……”等。

三、音阶与音区

由图1—3可见，键盘上各个按键的音高都是从左至右、从大字二组至小字五组逐渐升高的，它们尤如88级的台阶，一个阶梯比一个阶梯高，所以通常又把它们称为“音阶”。

我们知道，音的区域即为音域，它是指人声或乐器在整个乐音体系中所能达到的范围。如88键钢琴的最低音是大字组“A2”、最高音是小字组“c5”，其音域就可表示为“A2—c5”。

“音区”是音域中的一部分，一般按频率的高低划分为高音、中音、低音三个区。在88键钢琴中的音域中，一般把大字组、大字一组、大字二组划分为“低音区”；把小字组、小字一组、小字二组划分为“中音区”；把小字三组、小字四组、小字五

组划分为“高音区”。

在音乐演奏中，不同的音区有着不同的表现特征，如高音区清脆、明亮；低音区雄厚、深沉；中音区的效果则介于两者之间。

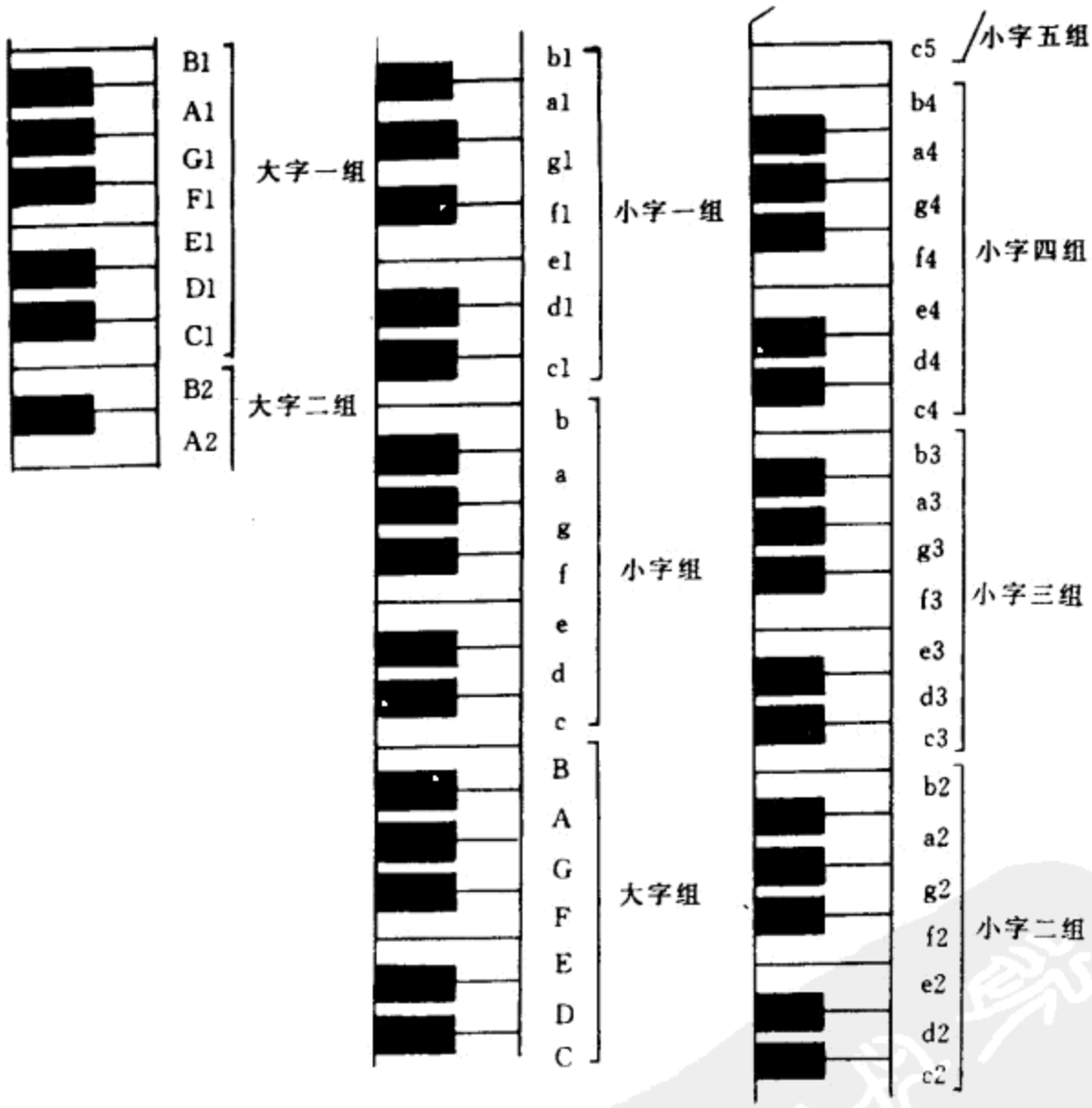


图 1—3　88 键钢琴键盘音名分组情况

四、音程与音数

两个音之间的距离叫做“音程”，单位为“度”。音程的度数与音程中的音是否带有变音标记无关，如“C－E”、“C－＃D”、“＃C1－E1”都是三度音程。

音程中包含全音、半音数目的多少叫做音程的“音数”。

音数用整数、分数、代分数来标记。全音用“1”、半音用“$\frac{1}{2}$”、全音加半音用“$1\frac{1}{2}$”。

度数和音数是识别音程的两个方面，缺一不可。音数对确定音程的性质、划分音程的种类有着直接的关系。在级数相同的音程中，由于所包含的音数不同，音程的性质也不同。

为区别度数相同而音数不同的各种音程，通常用“大”、“小”、“增”、“减”、“纯”来标记。各种音数的音程名称如下：

1. 音数为“0”的一度音程叫“纯一度”；

2. 音数为“1/2”的二度音程叫“小二度”，如“C－＃C”、“E－F”、“B－C”；

3. 音数为“1”的二度音程叫“大二度”，如“C－D”、“D－E”、“G－A”；

4. 音数为“$1\frac{1}{2}$”的三度音程叫“小三度”，如“D－F”、“E－G”、“B－d”；

5. 音数为“2”的三度音程叫“大三度”，如“C－E”、“F－A”、“G－B”；

6. 音数为“$2\frac{1}{2}$”的四度音程叫“纯四度”，如“C－F”、“E－A”、“B－e”；

7. 音数为“3”的四度音程叫“增四度”，如“F－B”；

8. 音数为“3 $\frac{1}{2}$”的五度音程叫“纯五度”，如“C－G”、“E－B”、“A－e”；

9. 音数为“3”的五度音程叫“减五度”，如“B－f”；

10. 音数为“4”的六度音程叫“小六度”，如“E－c”、“A－f”、“B－g”；

11. 音数为“4 $\frac{1}{2}$”的六度音程叫“大六度”，如“C－A”、“D－B”、“F－d”；

12. 音数为“5”的七度音程叫“小七度”，如“D－c”、“G－f”、“B－a”；

13. 音数为“5 $\frac{1}{2}$”的七度音程叫“大七度”，如“C－B”、“F－e”；

14. 音数为“6”的八度音程叫“纯八度”，如“C－c”、“D－d”、“G－g”。

由以上14类可以总结出一个规律：一度、四度、五度、八度没有“大小”；二度、三度、六度、七度没有“纯”。通常把八度以内的(包括八度)音程叫单音程，超过八度的音程叫复音程。表1－1列出了单音程表供查用。

表1－1 单音程表

度数	一度	二度		三度		四度		五度		六度		七度		八度
种类	纯	小	大	小	大	纯	增四	减五	纯	小	大	小	大	纯
音数	0	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$	5	$5\frac{1}{2}$	6
相应键	C	#C	D	#D	E	F	#F	#F	G	#G	A	#A	B	C

第三节　音律与和弦

一、音律

我们知道，在乐音体系中，七个基本音级（通常为白键）、五个变化音级（通常为黑键）作为一个音组，这组音就有十二个半音音程（13 个唱名），即“C、#C、D、#D、E、F、#F、G、#G、A、#A（=bB）、B、c”，每一个半音将对应着一个频率。为了乐曲转调的需要，人们把这 12 个半音按照相等的频率比值均匀地分配，从而形成了 12 平均律的关系，它就是当前所有的键盘乐器和带品位的弦乐器普遍采用的标准，简称“音律”。

下面推导音律各音之间的数学关系。

由于 12 个半音是平均律的关系，当音高按等差级数增加时，频率必然按等比级数增加，这样每个半音之间的频率比将是一个恒定的数值。设该比值为“K”、第一个音“C”的频率为“f1”、第二个半音“#C”的频率为“f2”，则有

$$f2=Kf1$$

类似地，第三个半音“D”的频率“f3”将为

$$f3=Kf2=K\cdot Kf1$$
$$=K^{3-1}f1$$

同样，第四个半音“#D”的频率为

$$f4=K^{4-1}f1$$

第 N 个半音的频率为

$$fN=K^{N-1}f1$$

我们已经知道，第 13 个半音“c”的频率正好比第一个音“C”高 8 度，所以有

$$f13 = K^{13-1} f1 = K^{12} f1 = 2f1$$

由此可以得出

$$K^{12} = 2$$

即

$$K = \sqrt[12]{2} \approx 1.05946309$$

（一般取 K＝1.05946）有了这个比值，我们就可以根据已知频率的一个音推算出一组音名所对应的频率值。如已知大字组的“C”音频率为“65.406”Hz，即可方便地求出本组内各音的频率如下：

C ＝65.406Hz

#C ＝65.406×1.05946＝69.296Hz

D ＝65.406×(1.05946)^2＝73.416Hz

或 ＝69.296×1.05946＝73.416Hz

#D ＝65.406×(1.05946)^3＝77.782Hz

或 ＝73.416×1.05946＝77.782Hz

E ＝65.406×(1.05946)^4＝82.407Hz

或 ＝77.782×1.05946＝82.407Hz

F ＝65.406×(1.05946)^5＝87.307Hz

或 ＝82.407×1.05946＝87.307Hz

#F ＝65.406×(1.05946)^6＝92.499Hz

或 ＝87.307×1.05946＝92.499Hz

G ＝65.406×(1.05946)^7＝97.999Hz

或 ＝92.499×1.05946＝97.999Hz

#G ＝65.406×(1.05946)^8＝103.83Hz

或 ＝97.999×1.05946＝103.83Hz

A ＝65.406×(1.05946)^9＝110Hz

或 ＝103.83×1.05946＝110Hz

$$\#A = 65.406 \times (1.05946)^{10} = 116.54\text{Hz}$$

或 $= 110 \times 1.05946 = 116.54\text{Hz}$

$$B = 65.406 \times (1.05946)^{11} = 123.47\text{Hz}$$

或 $= 116.54 \times 1.05946 = 123.47\text{Hz}$

$$c = 65.406 \times 2 = 130.81\text{Hz}$$

或 $= 123.47 \times 1.05946 = 130.81\text{Hz}$

由以上计算过程可以看出，只要把键盘上已知按键的频率乘以 1.05946，就可得到比该键高半音的频率；同样，只要除以 1.05946 就可得到比该键低半音的频率。用此方法可以把整个键盘上的按键频率计算出来。

国际标准规定，将小字一组中的 a1 定为 440Hz，用来作为乐器的基准音高。由此，我们可以用十二平均律推算出其它各音的频率。表 1—2 列出了 88 键钢琴按键所对应的音阶频率供参考。

表 1—2 音名频率对照表 **单位：Hz**

音名	大字二组	大字一组	大字组	小字组	小字一组	小字二组	小字三组	小字四组	小字五组
C	16.352	32.703	65.406	130.81	261.63	523.25	1046.5	2093	4186
#C	17.324	34.648	69.296	138.59	277.18	554.37	1108.7	2217.5	4434.9
D	18.354	36.708	73.416	146.83	293.66	587.33	1174.7	2349.3	4698.6
#D	19.446	38.891	77.782	155.56	311.13	622.25	1244.5	2489	4978
E	20.602	41.203	82.406	164.81	329.63	659.26	1318.5	2637	5274
F	21.827	43.654	87.307	174.61	349.23	698.46	1396.9	2793.8	5587.7
#F	23.125	46.249	92.499	185	369.99	739.99	1480	2960	5920
G	24.5	48.999	97.999	196	392	783.99	1568	3136	6271.9
#G	25.957	51.913	103.83	207.65	415.30	830.61	1661.2	3322.4	6644.9
A	27.5	55	110	220	440	880	1760	3520	7040

续表

音名	大字二组	大字一组	大字组	小字组	小字一组	小字二组	小字三组	小字四组	小字五组
#A	29.135	58.27	116.54	233.08	466.16	932.33	1864.7	3729.3	7458.6
B	30.868	61.735	123.47	246.94	493.88	987.77	1975.5	3951.1	7902.1

二、和弦

在多声部的音乐中，按照三度或非三度音程关系排列起来的3个以上的音的结合，叫做“和弦”。

1. 三和弦

按三度音程关系排列起来的3个音构成的和弦叫做“三和弦”。

在按三度音程排列的三和弦中，下面的音叫做“根音”；中间的音叫做“三度音”；上面的音叫做“五度音”。三和弦通常有以下几种：

(1) 大三和弦

由根音到三度音是大三度，由三度音到五度音是小三度。因为大三度加小三度是纯五度，所以根音到五度音必然是纯五度。

常用的大三和弦有：

C—E—G

F—A—c

G—B—d

(2) 小三和弦

小三和弦与大三和弦恰好相反，由根音到三度音是小三度，由三度音到五度音是大三度。根音到五度音仍是纯五度。

常用的小三和弦有：

A－c－e

D－F－A

bC－E－G

大三和弦与小三和弦的区别关键在三度音。判别方法是：若根音到三度音是大三度即为大三和弦；若根音到三度音是小三度则为小三和弦。

（3）增三和弦

从根音到三度音、从三度音到五度音都是大三度的和弦叫增三和弦。增三和弦中，从根音到五度音必然是增五度。

常用的增三和弦有：

C－E－#G

bA－C－e

bB－d－#f

（4）减三和弦

与增三和弦相反，减三和弦的根音到三度音、三度音到五度音都是小三度，根音到五度音为减五度。

常用的减三和弦有：

B－d－f

#F－A－c

E－G－bB

2. 七和弦

除了三和弦以外，常用的和弦还有七和弦。

七和弦是由 4 个音按照三度音程的关系重叠起来的和弦。七和弦的下面三个音与三和弦一样，依次叫做“根音、三度音、五度音”，由于第四个音与根音相距七度，所以叫做“七度音”。

常用的七和弦有如下几种：

(1)大小七和弦

大小七和弦也叫“属七和弦”。它是以大三和弦为基础，从根音到七度音为小七度的和弦。如：

C—E—G—bB

G—B—d—f

(2) 小七和弦

以小三和弦为基础，从根音到七度音为小七度的七和弦叫“小七和弦”。如：

A—c—e—g

E—G—B—d

(3)减小七和弦

以减三和弦为基础，根音到七度音为小七度的和弦叫做减小七和弦，也叫做“半减七和弦”。如：

B—d—f—a

D—F—bA—c

(4) 减七和弦

以减三和弦为基础，根音到七度音为减七度的和弦叫做“减七和弦”。如：

B—d—f—ba

#G—B—d—f

在以上的几种和弦中，大三和弦与小三和弦属于“协和三和弦”，这种和弦听起来悦耳、融合；增三和弦、减三和弦属于“非协和三和弦”，这种和弦听起来不融合。

协和三和弦是三和弦中的主要类型，使用最广泛。

由于七和弦中包含了不协和的七度音程，所以所有的七和弦都是“非协和和弦”。

第四节　乐音的特性和形成

一、乐音的特性

乐音一般有五个特性，即音高、音值、音量、音色和音形。

1. 音高

“音高”是乐音的三大要素之一。

音高就是“音调”，它是由物体的振动频率决定的。频率高则音高；频率低则音低。

2. 音值

音值就是“音长”，是由音的持续时间长短决定的。音的持续时间长，音值则长；音的持续时间短，音值则短。

3. 音量

音量就是音的强弱。音量是由音的振动范围、幅度决定的，振幅大音量大；振幅小音量则小。

4. 音色

“音色”是乐音的三大要素之二。

音色决定着乐音的类型，它是由发音物体的性质、形状及其谐波成分的多少决定的。

5. 音形

“音形”是乐音的三大要素之三。

音形决定乐器的特征，它就是声音从产生到消失的过程中，振幅大小的变化形状。通常称为“音形包络”。

二、音色的机理

每一种乐器都有其独特的声音色彩，通常称它们为“音

色”。乐器不同，所发乐音的音色也不同。图 1－4 示出了“音叉、单簧管、双簧管”的音色波形。

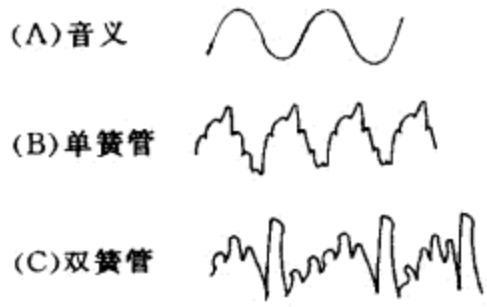


图 1－4　音叉、单簧、双簧的音形波形示意图

如果把音叉、单簧管、双簧管三种乐器的音高(频率)、音量(振幅)调整在同一数值上，然后用它们来演奏同一首乐曲，我们仍会明显地感觉到它们各自的存在。这是什么原因呢？

原来造成每种乐器音色差别的主要原因不在基音成分，而在于基音外的“泛音”(谐波)成分以及不同的发音过程。由于泛音的数量、强度不同，致使产生出来的声音千差万别，各不相同。

图 1－4(A)为音叉发出的正弦波形，波形的幅度和方向是随时间逐渐变化的，而且正、负半周完全对称。

我们知道，正弦波是单一的纯音，如果在一个完整的正弦波周期中仅加入一个二次谐波，即加一个比基频高出一个八度音的偶次谐波，其结果将如图 1－5 所示。

图 1－5 中，实线为新合成的波形。显然，它明显的不同于原来的基波和二次谐波的波形。合成后的波形使正弦波的最大振幅位置由中间移向两边，并使波形变得细长而明显的

不对称。

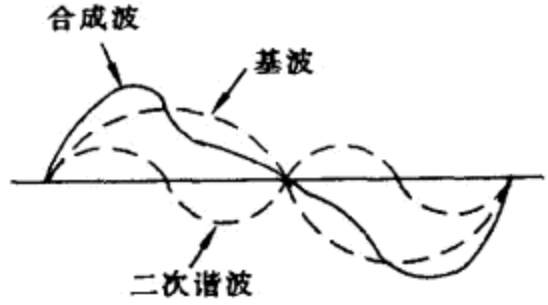


图 1－5　基波加一个二次谐波后的波形示意图

如果在一个完整的正弦波周期中仅加入一个三次谐波(奇次谐波),合成后的波形将变成什么样子呢?

图 1－6 给出了结果。

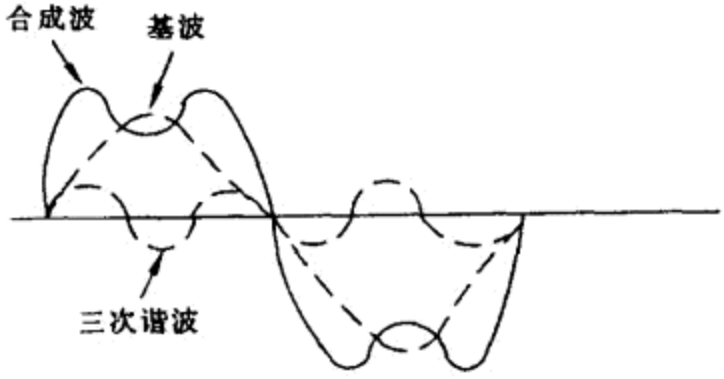


图 1－6　基波加一个三次谐波后的波形示意图

由图 1－6 可见,新合成的波形是相互对称的。如果再加入一个五次谐波,新合成波形的顶部将趋向平坦,幅度和方向随时间的变化也趋向突变,但它的正负半周的波形仍然是对称的,结果如图 1－7 所示。

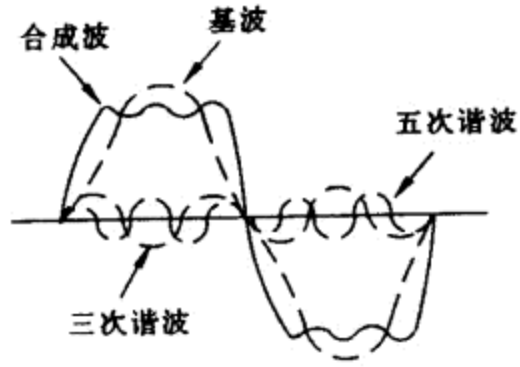
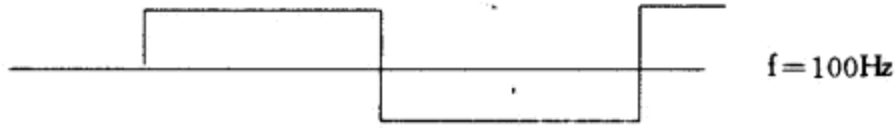


图 1－7　基波加入三、五次谐波后的波形示意图

如果再继续加入适量的各种奇次谐波，将会使合成后的波形顶部更平坦，上升、下降沿的更陡峭，更接近于方波的波形。图 1－8 是常见的占空比为 50%的对称方波及其频谱图，从图中可以看出，方波中含有丰富的奇次谐波。



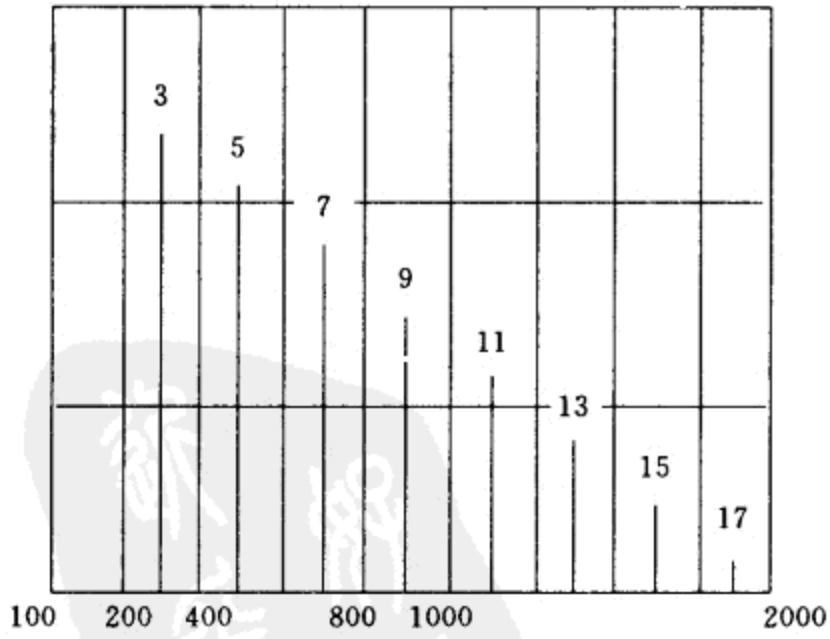


图1—8　方波及频谱图

如果在图 1－5 所示的波形中再加入各种奇次、偶次谐

波，将使合成后的波形继续发生演变，变化过程如图 1－9 所示。

由于各种谐波的加入，波形的幅度、方向均发生了较大的变化，其最大振幅也继续向两边偏移，最终形成锯齿波。图 1－10 示出了锯齿波的波形图和频谱图。

由图 1－10 可以看出，锯齿波是一种含有丰富的奇次、偶次谐波的波形。

不同种类的乐器有着不同的声音频谱。即使是同一种乐器，由于制作材料、工艺的不同，其频谱也将发生变化。既然我们知道了在基波中加入不同成分的奇次、偶次谐波可以构成各种各样的乐音，那么一个乐音信号也必然可以分解出其包含的各种谐波成分。这样，我们就可以使用不同的谐波，合成出与各种传统乐器一样的声音效果。当然也可以合成出传统乐器所不能演奏的音响效果。

三、音形的机理

一种乐器的声音不仅受到音调、音量、音色这三个因素的影响，而且还存在着一个发音过程的变化影响，这就是音形。

图 1－9　加入奇、偶次谐波后波形的演变

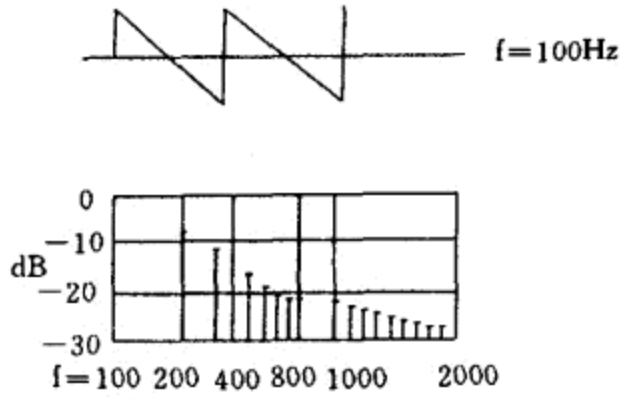


图 1—10　锯齿波及其频谱图

乐音从产生到消失一般经历三个阶段：第一为上升阶段，声音强度从零增长到某一数值；第二为稳定阶段，声音强度稳定在某一幅值上；第三为消失阶段，声音从稳定值衰减到零，停止发声。这个过程与物体受外力作用，从原来的静止状态到产生振动、同时幅度变到最大，随着外力的消失，物体的振动开始逐渐衰减到零、恢复到原来的静止状态一样。这个过程可以用图 1—11 所示的波形来表示。

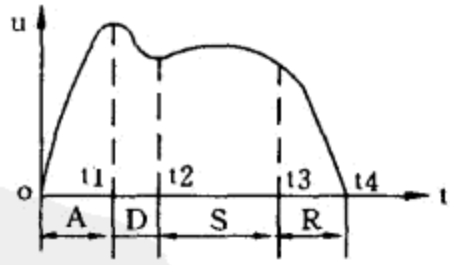


图 1—11　声音的音形图

图 1—11 中，t0～t1 为起始阶段（A 段），此时声音的幅值从零开始迅速增长，直至最大振幅；t1～t2 为衰减阶段（D 段），此时声音的幅值从最大开始衰减；t2～t3 为持续阶段（S

段)，此时声音幅值开始稳定持续地发音；t3～t4 为消失阶段(R 段)，此时声音幅值从稳定值衰减到零。

图 1－12 为两种声音的音形图，如将声音幅度最大值的各点都连接起来，就得到了一条封闭的曲线(图中的虚线)，它就是音形的包络线，通常称为“音形包络”。

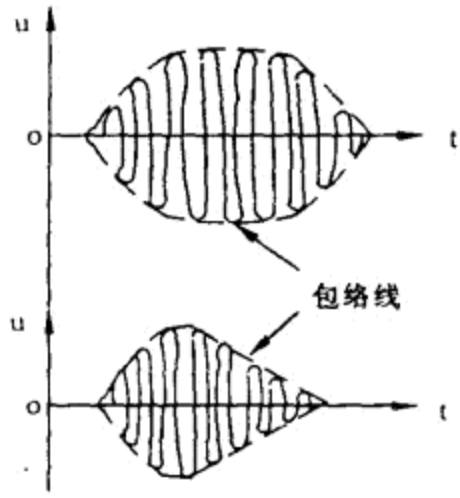


图 1－12　两种声音的音形包络

电子乐器就是用电路来产生包络信号去调制音频信号，由此产生出调制波的。

包络信号的各个过程可以根据实际发音过程进行模拟。

音形是各种乐器的脊梁，没有音形，乐器就失去了自己的特征。

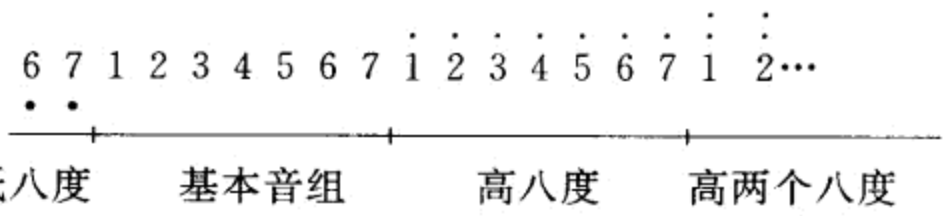
第五节　音符、调号与节拍

一、音符

音符是用来标记发音高低的符号。把“do、re、mi、fa、so、

la、si”这七个音，分别用阿拉伯数字“1、2、3、4、5、6、7”标记出来，叫作“简谱记谱法”。

在七个基本音符的上方或下方加写高音点或低音点，可获得高八度或低八度的各音组。如



在图 1—3 中，如果我们选小字组为基本音组的话，那么大字组就是高八度音组、大字一组就是高两个八度音组、小字一组就是低八度音组、小字二组就是低两个八度音组……。

这里提醒一句，基本音组的安排是相对的，音符只起着标识相对音高的作用。因此，也可以把基本音组标定在大字组或小字一组等等。

二、音符的时值

音乐中，某个音符发音时间的长短称为音符的时值。常用的音符时值见表 1—3。

表 1—3　常用音符时值表

音符种类	标识方式	说　明
全音符	1— — —	音符右侧加三条增时线
2 分音符	1—	音符右侧加一条增时线
4 分音符	1	
8 分音符	$\underline{1}$	音符下边加一条减时线
16 分音符	$\underline{\underline{1}}$	音符下边加两条减时线
32 分音符	$\underline{\underline{\underline{1}}}$	音符下边加三条减时线

各音符时间值的比例关系是，一个全音符等于两个 2 分

音符；一个 2 分音符等于两个 4 分音符；其余以此类推。

三、休止符

休止符是表示音乐休止（暂停发声）的符号，简谱中用“0”表示。休止符的时值以及各音符之间的对应关系与音符相同。

四、调号

在乐曲中，通常把以“1”作主音的称为“大调”；把以“6”作主音的称为“小调”。由于键盘上的任何一个键都可以作为大调或小调的主音，因而产生了许多高低不同的调。

在一首乐谱的开头，我们经常看到“1=C”或“1=G”等标记，这就是调号。

“1=C”表示以键盘上的“C”音作主音构成的大调，通常叫“C 大调”。如以 C 大调的第六个音“la”作主音，则在键盘上正好是“A”。所以以“A”作主音的小调一般也可以用“1=C”表示，也可以表示为“6=A”。

“1=G”是“G 大调”的调号，表明主音“1”的位置在“G”这个音上。

其余各调，以此类推。

五、节拍

1. 拍

音乐的运动是由相同的时间单位反复循环构成的，这种时间单位在音乐中叫做“节拍”，简称“拍”。

2. 拍子

“拍”是有强弱之分的，强拍与弱拍又是有规律地交替出

现的，所以便产生了音乐中的“拍子”。

强、弱拍的组合规律不同，所产生的拍子也不同。只有强拍、没有弱拍的叫“一拍子”；一强一弱的拍子叫“二拍子”；一强两弱的叫“三拍子”；一强三弱（第二个弱拍叫次强拍）的叫“四拍子”，强弱规律不明显，节奏较为自由的叫“散拍子”。

3. 小节与小节线

从一个强拍开始到下一个强拍出现的一段音符称为“一小节”，各小节之间用小节线“|”进行划分。

4. 拍子记号

每首乐曲的开头处标记的“2/4”或“3/4”等叫做拍子记号（也可以把斜线写成横直线）。斜线下面的数字表示什么音符为一拍；斜线上面的数字表示每小节有几拍。如“2/4”表示以4分音符为一拍，每小节有两拍；“3/8”则表示以8分音符为一拍，每小节有三拍。

第二章　键控电脑作曲

“电脑作曲”的确切称谓应该叫做“电子音乐合成”。它是在中央处理器 CPU 的控制下、按照特定的工作模式、对特殊的数据进行加工处理、最终合成出完整的音乐作品的过程。

随着电子技术的发展，电子音乐合成已变成系统内部的工作，用户可以不必理会它的具体操作过程，而只要按照规定的格式输入乐声数据或按下相应的按键，就可以演奏出优美、动听的音乐。因此，电脑作曲已不再需要高深的微机知识、繁琐的合成操作，呈现在用户面前就是一台比电子琴的操作还要简单的普通乐器，“作曲”与“演奏”已经简单到按键即现的境界。

本章将教给初学者一个最简单的电脑作曲、电脑演奏的操作方法。

第一节　F BASIC 的音乐板

BS・2A 版本的 F BASIC 工作系统中，有一个供初学者谱曲、演奏练习的“音乐板”。原系统是通过人机对话操作进入的。目前生产的电脑学习机多把该功能单独列出来，用户可以通过菜单选择直接进入。音乐板的画面结构如图 2－1 所示。

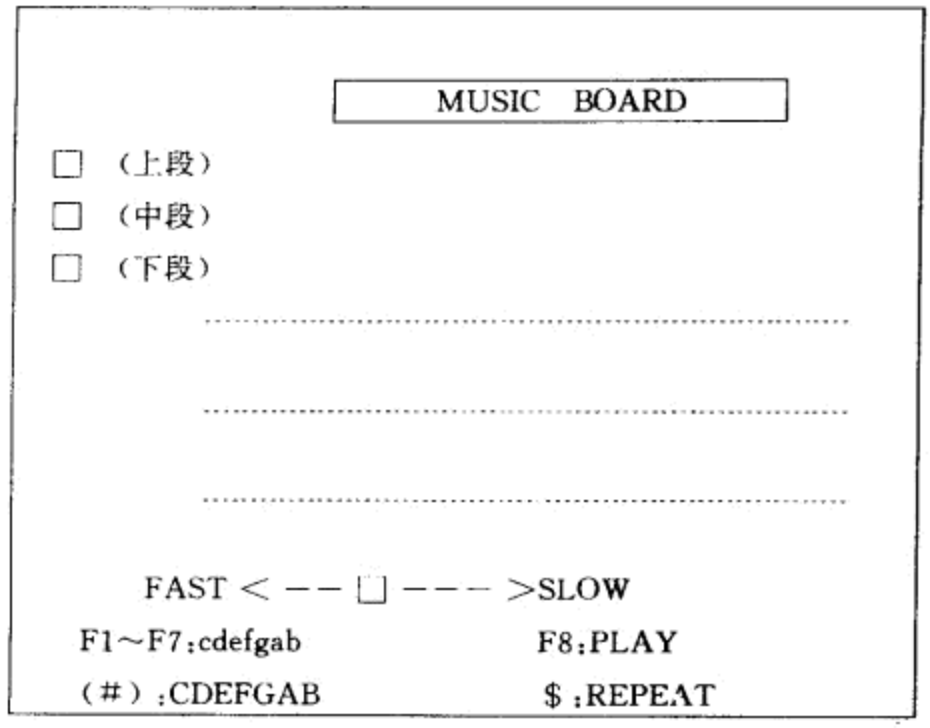


图 2—1 音乐板的工作画面结构

音乐板画面共分三个区：

第一是标题区，位于画面的最上部。矩形框中的英文单词“MUSIC BOARD”是“音乐板”的意思。

第二是工作区，位于画面的中部。该区共有四行，每行又纵向分成上、中、下三段，可进行三个声部的和声演奏。工作区每段四行可输入 96 个音符，三个声部共计可输入 288 个音符。

第三是提示区，位于画面的下部，该区由三行文字组成。

第一行提示音乐演奏速度的快慢。演奏速度共分六级，初始值为第三级（由空白框指出），演奏中按“←、→”键可调整速度。

第二行提示按 F1～F7 七个功能键，可以输入音符“c、d、e、f、g、a、b”（即 1、2、3、4、5、6、7），也可以直接按小写字母键输入；F8 为音乐演奏键，作曲完毕，按 F8 功能键，即开始演奏。

第三行提示升音符号用大写字母“C、D、E、F、G、A、B”输入，也可以按 Shift 键加 F1～F8 功能键输入；重复演奏符号为“$”，在需要重复演奏的位置，输入“$”符号，当演奏至该位置时将返回乐曲的开始位置，重复演奏。

画面上的羽毛笔指示输入音符的位置。

第二节　按键、输入音符与发音的对应关系

音乐板工作区的三段中，每一段的发音特点都不一样，每一段中按键与音符的对应关系也不同。

上段为高音域。在羽毛笔指向上段时，如果按 F1～F7 功能键，将在上段输入“c、d、e、f、g、a、b”字符，发出“$\dot{1}$、$\dot{2}$、$\dot{3}$、$\dot{4}$、$\dot{5}$、$\dot{6}$、$\dot{7}$”高八度的乐音；如果按数字键“1～7”将输入字符“1～7”，发出中音域的“1、2、3、4、5、6、7”乐音；如果按“C、D、E、F、G、A、B”键或者按“Shift＋F1～F8”功能键，将输入字符“C、D、E、F、G、A、B”，将发出高八度的升音“$\#\dot{1}$、$\#\dot{2}$、$\#\dot{3}$、$\#\dot{4}$、$\#\dot{5}$、$\#\dot{6}$、$\#\dot{7}$”。

中段为中音域。如在中段输入“c、d、e、f、g、a、b”（按 F1～F7），就会发出中音域的“1、2、3、4、5、6、7”的乐音；如果按数字键“1～7”输入“1、2、3、4、5、6、7”字符，将发出高八度音“$\dot{1}$、$\dot{2}$、$\dot{3}$、$\dot{4}$、$\dot{5}$、$\dot{6}$、$\dot{7}$”；若按“C、D、E、F、G、A、B”键，输入字母“C、D、E、F、G、A、B”，发出中音区的升音“#1、#2、#3、#4、#5、#6、#7”。

下段为低音域。若按 F1～F7 功能键，输入“c、d、e、f、g、a、b”字符，发出低八度音“$\underset{\cdot}{1}$、$\underset{\cdot}{2}$、$\underset{\cdot}{3}$、$\underset{\cdot}{4}$、$\underset{\cdot}{5}$、$\underset{\cdot}{6}$、$\underset{\cdot}{7}$”；若按数字键“1～

7”输入字符“1～7”，发出低两个八度音“$\underline{1}$～$\underline{7}$”；若按字母键“C、D、E、F、G、A、B”，输入对应的字母，发出低八度的升音“#$\underline{1}$～#$\underline{7}$”。

各段的输入按键、输入的字符、字符的发音对照情况列于表 2－1，供谱曲、演奏时参考。

表 2－1　音乐板三段的按键、字符、发音对照表

按　键		F1～F7 键	1～7 数字键	CDEFGAB 键
上段	输入的字符	c d e f g a b	1 2 3 4 5 6 7	CDEFGAB
	发出的声音	$\dot{1}$～$\dot{7}$	1～7	#$\dot{1}$～#$\dot{7}$
中段	输入的字符	c d e f g a b	1 2 3 4 5 6 7	CDEFGAB
	发出的声音	1～7	$\dot{1}$～$\dot{7}$	#1～#7
下段	输入的字符	c d e f g a b	1 2 3 4 5 6 7	CDEFGAB
	发出的声音	$\underline{1}$～$\underline{7}$	$\underline{1}$～$\underline{7}$	#$\underline{1}$～#$\underline{7}$

第三节　谱曲与演奏操作

一、羽毛笔

“羽毛笔”指示当前输入音符的位置。按方向键可以移动“羽毛笔”到欲输入音符的位置。按回车键时，“羽毛笔”将自动换行，位于下一行的行首位置。

二、输入音符

1. 上段输入

如欲在上段输入高八度音符“$\dot{1}\sim\dot{7}$”，按“F1～F7”功能键或在小写字母状态按“CDEFGAB”字母键，工作区将显示“c d e f g a b”。

如欲输入高八度升音音符“$\#\dot{1}\sim\#\dot{7}$”，按 Shift＋F1～F7 功能键或大写字母键“CDEFGAB”，将在工作区显示相应地大写字母“CDEFGAB”。

在上段如欲输入中音“1～7”，可直接按数字键“1～7”，屏幕上将显示“1～7”。

2. 中段输入

在中段如欲输入中音“1～7”，可按“F1～F7”功能键或在小写字母状态按“CDEFGAB”字母键，工作区将显示“c d e f g a b”。

如要输入高八度升音音符“$\#\dot{1}\sim\#\dot{7}$”，按 Shift＋F1～F7 功能键或大写字母键“CDEFGAB”，将在工作区显示相应地大写字母“CDEFGAB”。

如欲在中段输入高八度音符“$\dot{1}\sim\dot{7}$”，可直接按数字键“1～7”，屏幕上将显示“1～7”。

3. 下段输入

在下段如欲输入低八度音符“$\underset{\cdot}{1}\sim\underset{\cdot}{7}$”，可按“F1～F7”功能键或在小写字母状态按“CDEFGAB”字母键，工作区将显示“c d e f g a b”。

如欲在下段输入低两个八度音符“$\underset{\cdot\cdot}{1}\sim\underset{\cdot\cdot}{7}$”，可直接按数字键“1～7”，屏幕上将显示“1～7”。

如要输入低八度升音音符“#1～#7”，按 Shift＋F1～F7 功能键或大写字母键“CDEFGAB”，将在工作区显示相应地大写字母“CDEFGAB”。

4. 重复演奏符

如要使乐曲重复演奏，可在乐曲的末尾使用重复演奏符号“$”，输入方法是同时按住 Shift＋4 键（不论上、中、下段），这时羽毛笔位置将显示重复演奏符号“$”。

三、音符的修改

1. 音符输入过程中的修改

用方向键移动羽毛笔到欲修改的音符上，输入正确的音符。

2. 音符演奏状态中的修改

当系统处于音符演奏状态时，不论正在演奏还是已按空格键终止演奏，羽毛笔都是插在墨水瓶中的。此时，可以先按“Home”键将羽毛笔移到工作区的左上角，再使用方向键把羽毛笔移到修改的音符上。

3. 音符的删除

按“Del”键可删除羽毛笔左边的一个音符（每按一次，删除一个），同时羽毛笔下面及本行以后的字符将跟随前移一格。

4. 音符的插入

首先把羽毛笔移到欲插入音符的位置，按“Ins”键，可在羽毛笔的左边插入一个空格（每按一次，插入一个），同时羽毛笔及其以后的本行字符将后移一格；然后插入新的音符。注意，插入空格仅以本行为限，当羽毛笔及其以后的字符移到本行尾时，若继续插入空格，行尾的字符将因移出工作区外

而删除。

四、乐谱的清除

同时按住“Shift＋Home”键，可把工作区中的字符全部清除干净。

五、乐谱的演奏

1. 开始演奏

按 F8 功能键，系统将会演奏已输入的乐谱(上、中、下三段同时演奏)。在演奏中途按 F8 键，系统将会从头开始演奏乐谱。

2. 调整演奏速度

在乐谱的演奏过程中，按方向键“←、→”可以改变演奏速度，左移键加快演奏速度；右移键降低演奏速度。并在屏幕下部提示区的第一行提示速度级别。

3. 中止演奏

在演奏过程中，按空格键可中止演奏。此时光标停留在中止演奏的那个音符上。

4. 单音演奏

当按空格键中止演奏后，使用左、右方向键可以控制光标向左或向右移进行单音演奏。大家都习惯了按乐谱顺序演奏的音乐，可能很少有人听到逆序演奏的旋律，现在你可以一饱耳福了。

5. 谱曲演奏功能的退出

按“Esc”键，将退出谱曲演奏功能，返回系统主菜单。

第四节　谱曲示范

一、《东方红》

《东方红》乐曲脍炙人口，举国皆唱。使用音乐板也可以欣赏这一中华名曲。工作区输入的内容如图 2—2 所示。

```
              DONG   FANG   HONG
      ══════════════════════════════════════════════
上  5    562       1  1  2      5  5  6c65
中
下                   a
      ..............................................
上  1    1    2    5  2  1       5  2  32
中
下        a                 bag
      ..............................................
上  1    1    232121    ggg321
中
下         a         ba          bag $
      ..............................................
```

图 2—2 《东方红》旋律数据

按照图 2—2 输入字符后，按 F8 功能键就可以反复演奏《东方红》乐曲。演奏中可以按左、右方向键，调整演奏速度到自己喜欢的节奏。

由演奏可以发现，音乐板的发音是相当准确的。

二、《铃儿响叮当》

《东方红》乐曲只使用了一个声部演奏，效果较单调。下面以世界名曲《铃儿响叮当》为例，介绍三重奏乐曲的谱写方法（由于音乐板可输入的字符有限，我们只能编写乐曲的一部分。在编程演奏中，将欣赏到乐曲的全貌），输入工作区的音符如图 2—3 所示。

JINGLE BELL（铃儿响叮当）

```
上 e e e e e e e g c d e       f f f f e e e d d c
中 c   e g   e c   e   g   e   c   f g   e d   a
下 c   g c   g c   g   c c d e f   a c   g d   a e

上 d g   e e e e e e e g c d e       f f f f e e g
中 g b   c   e g   e c   e   g   e   c   f g   e d
下 d g f c   g c   g c   g   c c d e f   a c   g d

上 g f d c       5 e d c 5       5 e d c 6       6
中   f   c       c   e   g   e   c   e   f   d   a
下 f g 5 c 5 6 7 c   g   c 5 5 5 c   g   f 6 6 6 f

上 f e d g g g g a g f d c
中   f   b   g   f   d   c   $
下   a   g   b   g 5 6 7 c 5
```

图 2—3 《铃儿响叮当》旋律数据

第三章　BASIC 程序作曲

使用音乐板谱曲演奏，尽管简单、方便，但受每板输入字符数量的限制，往往不能演奏完整的乐曲；而且音色、音量均已固定，不能调节；另外，由于使用的发音段不同，同样的音符，发出的音高不同，使用起来也嫌不便。故音乐板仅适用于简单乐曲的演奏或音乐片段的谱写练习，若想演奏较大篇幅的乐章，就必须使用 BASIC 程序实现。

F BASIC 工作系统中有一条专用于演奏音乐旋律的指令“PLAY”，在该指令的引导下，可以进行 4 种音色、16 级音量、6 个八度音程、8 种节奏、三声部和弦的旋律演奏。本章将重点讨论 PLAY 指令的特点、使用格式和音乐旋律演奏程序的编写方法。

第一节　PLAY 指令

一、PLAY 指令的格式

格式：PLAY"弦乐资料"
类型：语句或命令
简写：PL.
功用：演奏指定的弦乐资料。
注释：“PLAY”为播放或演奏的意思。
示例：PLAY"CRDRE"

运行后将演奏“1 0 2 0 3”

二、弦乐资料说明

PLAY 语句中的弦乐资料共包含“节拍、音色、音量、音长、八度音、音名和音符的时值”等内容。

1. 节拍

在弦乐资料中，节拍以字母“T”指定，共有 8 种节拍类型供选择，分别以“T1～T8”表示。

节拍快慢的选择按如下约定：

T1(快)←→T8(慢)

如：

PLAY“T3”

表示指定演奏按第三种节拍速度进行。

节拍一旦指定，到下一次指定前都有效。

2. 音色

音色以字母“Y”指定，共有 4 种类型的音色供选择，分别以“Y0～Y3”表示。

4 种音色的波形占空比依次为：

Y0:12·5%

Y1:25·0%

Y2:50·0%

Y3:75·0%

使用中，一般在指定 M0 或 M1 后再指定音色。

示例：

PLAY“T3Y1”

指定节拍为 3、音色为 1(波形占空比为 25%)。

3. 主音的音量与音长

主音由 M0、M1 指定。

M0：用于指定主音音量。

音量用字母“V”指定，共有 16 级音量供选择，分别以“V0～V15”来指定音量的高低。

音量高低的选择按如下约定：

V0(最低)←→V15(最高)

必须在指定了 M0 以后，才能指定音量。

M1：用于指定主音音长。

音长也用字母“V”指定，共有 16 级音长供选择，分别以“V0～V15”来指定主音的长度。

音长的选择按如下约定：

V0(最短)←→V15(最长)

必须在指定了 M1 以后，才能指定音长。

示例：

PLAY“T3M0V4Y2M1V7”

指定节拍为 3、音量为 4 级、音色为 2(波形占空比为 50%)、音长为 7 级。

4. 八度音

八度音由字母“O”指定，共有 6 个八度音供选择，分别以“O0～O5”来指定八度音。

以简谱中的“1”音为例，6 个八度音对应的音高依次如表 3－1 所示。

表 3－1　八度音音高对照表

O0	O1	O2	O3	O4	O5
$\dot{1}$	$\ddot{1}$	$\dot{\dot{1}}$	1	$\ddot{1}$	$\dot{\dot{1}}$

如果乐曲中有高三个八度的音符，可以将O0～O5的音高均提高一个八度。

5. 音名和音符

弦乐资料中，音名分别用字母“CEDFGAB”表示，对应的音符分别为“1234567”。音名和音符的对应关系如表3—2所示。

表3—2 音名与音符对照表

C	D	E	F	G	A	B
1	2	3	4	5	6	7
#C	#D	#E	#F	#G	#A	#B
#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7

示例：

PLAY“T4M0V3M1V5Y2O3D”指定节拍为4、音量为3级、音长为5级、音色为2、演奏中音“2”。

6. 音符的时值

音符的时值指定采用音名后面缀以数字的方法表示。时值共分10级，分别以数字“0～9”表示。时值与节拍的对应关系见表3—3。

表3—3 音符的时值与节拍对照表

数字	音符的种类	节 拍	示 例
9	全音符	4拍	1---
8	副2分音符	3拍	1--
7	2分音符	2拍	1—
6	副4分音符	1又1/2拍	1·
5	4分音符	1拍	1

续表

数字	音符的种类	节　拍	示　例
4	副 8 分音符	3/4 拍	$\underline{1\cdot}$
3	8 分音符	1/2 拍	$\underline{1}$
2	副 16 分音符	3/8 拍	$\underline{\underline{1}\cdot}$
1	16 分音符	1/4 拍	$\underline{\underline{1}}$
0	32 分音符	1/8 拍	$\underline{\underline{\underline{1}}}$

示例：

10 PLAY“T3M0V9M1V5Y3”

20 PLAY“O3C3O2A3O3C3D3E7”

运行程序，将演奏出

| $\underline{1\,6}$　$\underline{1\,2}$　3— |

7. 休止符

旋律演奏中的休止以字母“R”表示，“R”后面也缀以数字“0～9”表示休止的时间，时间的长短与音符时值的约定相同。

8. 和弦演奏

使用 PLAY 指令可以进行二重奏、三重奏乐曲的演奏。各声部的弦乐资料数据之间用“:”(冒号)隔开。如：

PLAY“第一声部:第二声部:第三声部”

声部顺序依次为第一声部、第二声部、第三声部，其中前两个声部为方波，第三声部为三角波。故第一、二声部可用于主旋律演奏，第三声部常用于伴奏。

示例：

PLAY“O3C5:O2E5:1G5”将发出“1、3、5”三音的重奏。

第二节　演奏程序的编写

一、演奏程序的语法结构和编程约定

编写演奏程序，必须按规定的语法结构进行。

1. 首先指定主音的音量和音长 M0、M1，然后再指定节拍 T、音色 Y，各参数一经指定后会一直保持到再次指定为止。若未指定时，系统将按默认值“M0V15T4O3”、音符的时值为 5 进行演奏。

2. 每行语句必须使用 PLAY 指令引导，字符串用双引号括起来。每个 PLAY 指令引导的字符数不能超过 31 个。在二、三重奏的弦乐资料数据中，冒号也作为一个字符对待。

3. 在编写二、三重奏的弦乐资料时，必须先定义节拍 T，而且各声部的节拍必须一致，否则重奏将不能和谐同步。

4. 音符的时值一经指定后，若后面音符的时值与前面的相同，后面音符的时值可以省略，直到需改变时值时再指定，即使换行也不影响。如：

| 2 3　2 1 | 7 6　5 |

可编写为

“O3D3EDC92BAC5”

而不必写为

“O3D3E3D3C3O2B3A3C5”

5. 语句中的音符，若后一个音符的八度音程与前一个音符相同，可不必再指定，即使换行也不影响。如上例中不必写为：

“O3D3O3EO3DO3CO2BO2AO2C5”

6. 在三重奏中，第三声部的音色是固定不变的，因此第三声部可省略音色的设定。

7. 在二、三重奏中，每个声部的演奏状态必须分别指定。各声部的音色、音量、音长、音符的时值等参数一经指定，将一直有效，即使更换语句行也不受影响。

二、编程方法

1. 把乐谱以节拍分段抄写，分段距离以大些为宜。16K纸一般每行分 6～8 段。若是重奏，也要对应划分。

2. 首先在每个乐谱下面填上对应的音名，然后再对照表3－3 填上每个音名的时值。若后一音名的时值与前一音名的时值相同时，后一音名的时值可以省略。

3. 在音名的前面填上八度音程符号“On”，若后一音名的八度音程与前一音名相同时，后一音名的八度音程符号可以省略。

当掌握熟练后，第 2、3 两步可以一次完成。

4. 按照每行不超过 31 个字符的规则，把弦乐资料填入PLAY 语句中。注意，在语句分行时，同一节拍之中的音名字符，不能拆开写入两条语句中。

5. 程序输入电脑后，试运行，修改错误后，存储备用。

三、编程示例

1. 单声部演奏编程示例

编写演奏《东方红》乐曲的程序。

首先写出乐谱，分段，填上音名字符等。《东方红》乐曲的音符、弦乐资料对应情况如下：

东 方 红

1=C 2/4

5	56	2	—	1	16	2	—
03G5	G3A	D7		C5	C302A	03D7	
5	5	61	65	1	16	2	—
G5	G	A304C	03AG	G5	C302A	03D7	
5	2	1	76	5	5	2	32
G5	D	C	02B3A	G5	03G	D	E3D
1	16	23	21	21	76	5	—
G5	C302A	03DE	D C	D C	02BA	G7	

以上弦乐资料核对无误后，填入 PLAY 语句中(本例设定“M1V15Y2T4”)，程序见 No. 3—1。

```
10 REM No. 3—1 THE EAST IS RED
20 PLAY "M1V15Y2T4"
30 PLAY "O3G5G3AD7C5C3O2AO3D7"
40 PLAY "G5GA3O4CO3AGC5C3O2AO3D7"
50 PLAY "G5DCO2B3AG5O3GDE3D"
60 PLAY "C5C3O2AO3DEDCDCO2BAG7"
70 END
RUN ↙
```

将演奏《东方红》乐曲。若要重复演奏，只须把 70 行改为 70 GOTO 30 即可。若暂停演奏，可按 STOP 键。

2. 双声部演奏编程示例

编写《小乖乖》乐曲的二重奏演奏程序。

编写二重奏乐曲，必须首先把和弦的旋律写出来，并对应主旋律节拍填好；然后分别填写两个声部的演奏数据。

《小乖乖》二重奏乐曲的简谱及演奏数据填写如下。

小　乖　乖

1=C　4/4

:12	34	56	5	42	7	53	1
02C3D	E F	G A	G5	F3D	B5	G3E	03C5
12	34	56	5	42	$\dot{7}\underline{2}$	$\dot{1}$	—
02C3D	E F	G A	G5	F3D	B03D	C7	
				0	0	$\dot{1}$	$\underline{\dot{1}\dot{1}}$
				R7	03C5	C3C	
6	6	$\dot{1}$	$\underline{76}$	5	3	5	—
02A5	A	03C02B3A		G5	E	G7	
$\dot{1}$	—	—	$\underline{\dot{1}\dot{1}}$	3	—	—	$\underline{76}$
C8			C3C	E8			02B3A
4	2	7	—	5	3	$\dot{1}$	—
F5	D	B7	G5	E	03C7		
5	—	—	$\underline{76}$	5	—	—	$\underline{\dot{1}\dot{1}}$
G8			B3A	G8			03C3C
6	6	$\dot{1}$	$\underline{76}$	5	3	5	—
02A5	A	03C	02B3A	G5	E	G7	
$\dot{1}$	—	—	$\underline{\dot{1}\dot{1}}$	$\dot{3}$	—	—	$\underline{\dot{3}\dot{3}}$
C8			C3C	E8			E3E
4	2	7	$\dot{2}$	$\dot{1}$	—	—	0:
F5	D	B	03D	C8			R5
4	—	—	$\dot{4}$	$\dot{3}$	—	—	0
F8			F5	E8			R5

为方便起见，我们取每个节拍中的数据写入一个语句行，程序见 No. 3—2。

```
    小乖乖
 5 CLS :LOCATE 5,11:PRINT "XIAO GUAI
       GUAI"
6 PALET B 0,2,48,0,0
10 PLAY "M0V10Y3T4:M0V10Y2T4"
20 PLAY "O2C3DEFGAG5"
30 PLAY "F3DB5G3EO3C5"
40 PLAY "O2C3DEFGAG5"
50 PLAY "F3DBO3DC7:R7O3C5C3C"
60 PLAY "O2A5AO3CO2B3A:C8C3C"
70 PLAY "G5EG7:E8O2B3A"
80 PLAY "F5DB7:G8B3A"
90 PLAY "G5EO3C7:G8O3C3C"
100 PLAY "O2A5AO3CO2B3A:C8C3C"
110 PLAY "G5EG7:E8E3E"
120 PLAY "F5DBO3D:F8F5"
130 PLAY "C8R5:E8R5"
140 GOTO 10
```

3. 三声部演奏编程示例

编写《铃儿响叮当》的三重奏乐曲演奏程序。

我们曾使用音乐板演奏了三重奏《铃儿响叮当》的部分旋律，现在使用 PLAY 语句，演奏欣赏该曲的全部旋律。

首先将原曲改编为三重奏乐曲；然后分段列出三重奏曲谱(本例分 8 段)；最后依次填入音名、时值、八度音程等数据，核对无误后，填入 PLAY 语句中。

本例由于是三重奏曲，要求每个 PLAY 语句中的字符数小于或等于 29 个(分隔符":"占两个)，因此在填入 PLAY 语

句之前必须对字符分句。分句方法是：按节拍逐拍计算三个声部的字符之和，以小于或等于 29 个字符为一句。但要注意二分音符和付四分音符的情况，必须把该音符所在的节拍及后一节拍的字符填在一个语句中。如本例的第 8 拍、第 16 拍、第 24 拍、第 32 拍、第 40 拍、第 48 拍、第 56 拍、第 64 拍以及第 30 拍、第 44 拍、第 52 拍。否则，将出现节拍紊乱的现象。当对程序量没有要求、同时小节内的字符较少时，可以取每一小节的字符写入一个 PLAY 语句。

《铃儿响叮当》三重奏乐曲的简谱及音符对应如下（双撇号为分句标记）：

铃 儿 响 叮 当

1=C 4/2

33	3	33	"3	35	12	3	— "
04E3E	E5	E3E	E5	E3G	CD	E7	
1	3	5	3	1	3	5	3
03C5	E	G	E	C	E	G	E
1	55	1	55	1	5	11	23
02C5	G301G	02C5	G301G	02C5	G	C3C	DE
44	44	43	33	32	21	"2	5 ·
F3F	FF	FE	EE	ED	DC	D	G6
1	4	5	3	2	6	5	7
C	F	G	E	D	A	G	B
4	6	1	5	1	5	2	5
F5	A	C	G	C	G	D	G
33	3	33	"3	35	12	3	—"
E3E	E5	E3E	E5	E3G	CD	E7	
1	3	5	3	1	3	5	3
C	E	G	E	C	E	G	E
1	55	1	55	1	5	11	23

C	G301G	02C5	G301G	02C5	G	C3C	DE
44	44	43	33	55"	42	1 ·	5"
F3F	FF	FE	EE	GG	FD	C6	03G3
1	4	5	3	2	4	1	1
C	F	G	E	D	F	C	C
4	6	1	5	24	51	56	71
F5	A	C	G	D3F	01G02C	01HA	B02C
53	21	5 ·	55"	53	21	6 ·	6"
G04E	DC	03G6	G1G	G304E	DC	03A6	A3
1	3	5	3	1	3	4	2
C	E	G	E	C	E	F	D
1	5	15	55	1	5	46	66
C5	G	C301G	GG	02C5	G	F301A	AA
64	32"	6 ·	6	55	42"	3 ·	5
A04F	ED	03A6	A3	04GG	FD	E6	03G3
2	6	4	2	3	2	3	1
D	A	F	D	E	D	E	C
4	6	46	66	55	67	15	51
02F5	A	F30A02A01A		02G01G	AB	02C01G	G02C
53"	21	5 ·	5	53"	21	6 ·	6"
G04E	DC	03G6	G3	G04E	DC	03A6	A3
1	3	5	3	1	3	4	2
C	E	G	E	C	E	F	D
1	5	15	55	1	5	46	66
C5	G	C301G	GG	02C5	G	F301A	AA
64	32	55	55	65	42	1	— ":
A04F	ED	GG	GG	AG	FD	C7	

6	4	7	5	4	2	1	—：
A	F	B	G	F	D	C7	
4	6	5	7	55	67	1	—：
02F5	A	G	B	G301G	AB	02C7	

《铃儿响叮当》三重奏乐曲的演奏程序见 No. 3—3。

```
10 REM No. 3—3 JINGLE BELLS
20 PLAY "M1V9Y2T3:MOV5M1V5Y0T3:T3"
30 PLAY "O4E3EE5E3E:O3C5EG:O2C5G3O1GO2C5"
40 PLAY "E5E3GCDE7:ECEGE:G3O1GO2C5GC3CDE"
50 PLAY "F3FFFFEEEEDDC:CFGEDA:F5ACGCG"
60 PLAY "DG6E3EE5E3E:GBCEG:DGCG3O1GO2C5"
70 PLAY "E5E3GCDE7:ECEGE:G3O1GO2C5GC3CDE"
80 PLAY "F3FFFFEEEGG:CFGED:F5ACGD3F"
90 PLAY "FDC6O3G3:FCC:O1GO2CO1GABO2C"
100 PLAY "GO4EDCO3G6G1G:C5EGE:C5GC3O1GGG"
110 PLAY "G3O4EDCO3A6A3:CEFD:O2C5GF3O1AAA"
120 PLAY "AO4FED:DA:O2F5A"
130 PLAY "O3A6A3:FD:F3O1AO2AO1A"
140 PLAY "O4GGFD:ED:O2GO1GAB"
150 PLAY "E6O3G3GO4E:ECC:O2CO1GGO2CC5"
160 PLAY "DCO3G6G3GO4E:EGEC:GC3O1GGGO2C5"
170 PLAY "DCO3A6A3:EFD:GF3O1AAA"
180 PLAY "AO4FEDGGGG:AFBG:O2F5AGB"
190 PLAY "AGFDC7:FDC7:G3O1GABO2C7"
200 END [或 GOTO20]
```

第三节　名曲欣赏

本节仅列出几首乐曲的演奏程序供欣赏。

一、小毛驴

《小毛驴》是一首单声部演奏乐曲，演奏程序见 No. 3－4。

```
10 REM No. 3－4 XIAO MAO LU
20 CLS :LOCATE 8,11 :PRINT "XIAO MAO LU"
30 PALET B 0,39,14,0,0
40 PLAY "M1V14Y3T3"
50 PLAY "O2C3CC4E1G3GG4G1A3AAO3CO2G6R3"
60 PLAY "F3FFAE3EEED3DDDG6G3"
70 PLAY "C3CC4E1G3GG4G1A3AAO3CO2G6R3"
80 PLAY "F3FFAE1EEEE3ED3DDEC7"
90 GOTO 10
```

二、往事难忘

《往事难忘》是一首二重奏乐曲，演奏程序见 No. 3－5。

```
10 REM No. 3－5 WANG SHI NAN WANG
20 CLS :LOCATE 5,11 :PRINT "LONG LONG AGO"
30 PALET B 0,2,48,0,0
40 PLAY "M1V10Y0T3:M1V14Y2T3
50 FOR X=1 TO 2
60 PLAY "O3C3GCDEGEF:O3C5C3DE5E3F
70 PLAY "GO4CO3AGEGO4CO3G:G5A3GE7
80 PLAY "GBFEDGBG:G5F3ED7
```

```
90 PLAY "FGEDCEGE3:F5E3DC7
100 PLAY "CGCDEGEF:C5C3DE5E3F
110 PLAY "GO4CO3AGEGO4CO3G:G5A3E7
120 PLAY "GBFEDGED:G5F3ED5E3D
130 PLAY "CEGEC5R:C7C5R
140 PLAY "G3BFEDGO2GO3G:G5F3ED5O2G
150 PLAY "FGEDCEGE:O3F5DC7
160 PLAY "GBFEDGO2GO3G:G5F3ED5O2G
170 PLAY "FGEDCEGE:O3F5E3DC7
180 PLAY "CGCDEGEF:C5C3DE5E3F
190 PLAY "GO4CO3AGEGO4CO3G:G5A3GE7
200 PLAY "GBFEDGED:G5F3ED5E3D
210 PLAY "CEGEC7:C7C7
220 NEXT
230 RUN
```

三、给爱丽丝

《给爱丽丝》是一首二重奏乐曲，演奏程序见 No. 3—6。

```
10 REM No. 3—6 GEI AI LI SI
20 CLS :LOCATE 8,11:PRINT "FOR ELISE"
30 PALET B 0,2,48,0,0
40 PLAY "M1V10Y2T8:M1V10Y3T8
50 PLAY "O4E1#DE#DEO3BO4DC:R7
60 PLAY "O3A3R1CEA:O2R1EAR1R3
70 PLAY "B3R1E#GB:R1EBR1R3
80 PLAY "O4C3R1O3EO4E#D:R1EAR1R3
90 PLAY "E#DEO3BO4DC:R5R3
```

```
100 PLAY "O3A3R1O3CEA:R1EAR1R3
110 PLAY "B3R1EO4CO3B:R1EBR1R3
120 PLAY "A3R1R1O4E#D:R1EAR1R3
130 PLAY "E#DEO3BO4DC:R5R3
140 PLAY "O3A3R1CEA:R1EAR1R3
150 PLAY "B3R1E#GB:R1EBR1R3
160 PLAY "O4C3R1O3EO4E#D:R1EAR1R3
170 PLAY "E#DEO3BO4DC:R5R3
180 PLAY "O3A3R1CEA:R1EAR1R3
190 PLAY "B3R1EO4CO3B:R1EBR1R3
200 PLAY "A3R1R3:R1EABO3CD
210 PLAY "E1O4EER1R3:R1R3O2G1O3FE
220 PLAY "O3D1O4FFR1R3:R1R3O2F1O3ED
230 PLAY "O3C1O4EER1R3:R1R3O2E1O3DC
240 PLAY "O2FB1O3EO4ER1O3EE:O2B3R1O2E4
250 PLAY "O1ER1O3E#GEO4#D:R1ER5
260 PLAY "EO3#DEO4#DE#D:R3R5
270 PLAY "E#DEO3BO4DC:R3R5
280 PLAY "O3A3R1CEA:R1EAR1R3
290 PLAY "B3R1E#GB:R1EBR1R3
300 PLAY "O4C3R1O3EO4E#D:R1EAR1R3
310 PLAY "E#DEO3BO4DC:R3R5
320 PLAY "O3A3R1CEA:R1EAR1R3
330 PLAY "B3R1EO4CO3B:R1EBR1R3
340 IF X=1 THEN 370
350 PLAY "A3R1R1R3:R1EABO3CD
360 X=1:GOTO 210
```

```
370 PLAY "A8
380 RUN
```

四、楚留香新传

《楚留香新传》是一首三重奏乐曲，演奏程序见 No. 3－7。

```
10 REM No. 3－7 CHU LIU XIANG XIN ZHUAN
20 CLS :LOCATE 2,11 :PRINT "CHU LIU XIANG XIN
   ZHUAN"
30 PALET B 0,2,37,0,0
40 PLAY "M0V14Y3T4:M0V14Y1T4:M1T4
50 PLAY "O3A6O4C3O3E5G
60 PLAY "A8O4C3O3A
70 PLAY "G5A3GE5C
80 PLAY "D5E3DC5O2B
90 PLAY "A7R8:O2R7E5GAB8
100 PLAY "A7R8:O2R7E5GAB8
110 Y=0
120 FOR X=1 TO 2
130 PLAY "A6O4C3O3E5G:O3A9:O1A3AAAAAAA
140 PLAY "A8O4C3O3A:C7E:A3AAAAGFE
150 PLAY "G6A1GE6G3:CG:GGGGGGGG
160 PLAY "D9:F5EDC:DDDDDDDD
170 PLAY "D6E3O2A5O3C:G7F:GGGGGFED
180 PLAY "G6A1GE7:E7G:O1EEEEEEEE
190 PLAY "D3D5C3O2B5B3G:DF:GGGGGGGG
200 PLAY "A8O4C3O3B:C1DEFEFGAB7:AAAAAAAA
210 NEXT
```

```
220 PLAY "A6O4C3O3E5A:A6A3A5E:A3AAAAABA
230 PLAY "G8A3G:D6G3G5F:GGGGGGAG
240 PLAY "E6G3O2A5O3E:C6G3C5C:AAAAAAAA
250 PLAY "D8E3D:F6F3D5D:DDDDDDDD
260 PLAY "C6O2A3A5O3A:E6E3C5E:AAAAAAAA
270 PLAY "G7E5E3E:E6E3G5G:O2CCCCCCCC
280 PLAY "DDDCO2BBBG:F6F3G6D3:DDDDGGGG
290 PLAY "A8O4C3O3B:O5E3E5C:O1AAAAAAAA
300 PLAY "A6O4C3O3E5A:C6E3A5E:AAAAAAAA
310 PLAY "G8A3G:B6B3B6D3:GGGGGGGG
320 PLAY "E6G3O2A5O3E:C6C3C5C:AAAAAAAA
330 PLAY "D8E3D:F6D3D5G:DDDDDDDD
340 PLAY "C6O2A3A5O3A:E6C3C5C:AAAAAAAA
350 PLAY "G8E3G:E6E3G5G:O2CCCCCCCC
360 IF Y=1 THEN 400
370 PLAY "A5O4DC6O3B3:C5FEE:O1AAO2DDCCCC
380 PLAY "A8O4C3O3B:C9:O1AAAAAAA
390 Y=1 :GOTO 120
400 PLAY "A5O4D:C5F:O1AAO2DD
410 PLAY "C7O3B7:E7E:C7O1B
420 PLAY "A9:A9:A9
430 RUN
```

五、望春风

《望春风》是一首三重奏乐曲，演奏程序见 No. 3—8。

```
10 REM No. 3—8 WANG CHUN FENG
20 CLS : LOCATE 5, 9 : PRINT "<<WANG CHUN
```

```
    FENG>>"
30 PALET B 0,2,48,0,0
40 FOR N=1 TO 2
50 PLAY "M0V14Y3T4:M0V10Y2T4:M0T4"
60 PLAY "O2G6G3A5O3C:O2E6E3F5A:O1C7F"
70 PLAY "D4E0DC3DE7:B5O3EC7:GA"
80 PLAY "G6E3EDC5:E6C3C5C:BA"
90 PLAY "D9:O2B7G3AO3CD:G9"
100 PLAY "E6G3G5E3G:G6E3E5G:C7G"
110 PLAY "C6D3D7:O2A6B3B7:FG"
120 PLAY "O2G6O3E3E5D:O3D6C3C5O2B:FG"
130 PLAY "C9:O3E7C3O2BAG:C9"
140 PLAY "D6D3E5D3C:B6B3O3C5O2B:G9"
150 PLAY "O2A5G3AO3C7:O3C5DCO2A3G:F"
160 PLAY "O2A6O3C3D5E:O3C6O2A3B5O3C:E"
170 PLAY "G9:E6G3G5F3E:D"
180 PLAY "G6G3A5G3E:E6E3C5E3C:C7F5G"
190 PLAY "E5D3CO2A7:G5GC7:C5EF7"
200 PLAY "G6O3E3E5D:O2B6O3C3C5O2B:GG"
210 PLAY "C9:O3E9:C9"
220 NEXT
230 GOTO 40
```

六、明天会更美好

《明天会更美好》是一首三重奏乐曲，演奏程序见 No. 3—9。

```
10 REM No. 3—9 TOMORROW WILL BE BETTER
```

```
20 CLS
30 PALET S 0,7,18,18,18
40 LOCATE 2, 9: PRINT " * TOMORROW WILL BE
   BETTER * "
50 PLAY "M0V10Y1T5:M0V14Y3T5:M0T5
60 PLAY "O3E1FG8R3E1DC8R3E1F"
70 PLAY "G7R3O4CO3GE1F:O1C9"
80 PLAY "F8R3E1F:F9"
90 PLAY "G7R3CO4C4O3B1:G"
100 PLAY "A8R3E1F:A"
110 PLAY "G7R4F1E4D1:G"
120 PLAY "O3C3GO4EO3GO4EO3G:C5:C5"
130 PLAY "O4EO3G:R3E1F:R5"
140 PALET S 0,12,30,30,30
150 X=0:Y=0:Z=0:W=0
160 PLAY "O4E3O3GO4EO3G:G3GGG1G:C5E"
170 PLAY "O4CFDO3A:AGF3FE1F"
180 PLAY "E3O3GO4EO3G:G3GE1DC3:C7"
190 PLAY "BGO4C1DEF:D6E1D:G"
200 PLAY "G3CEC:C1CC3O4C1C4:O2C"
210 PLAY "FGEG:O3B1O4CO3BG5R1:O1B"
220 PLAY "CFO3AO4F:A1GFF3G1A3:A"
230 PLAY "DGDG:G7:G"
240 PLAY "O3G3O4EO3GO4E:O4C3C5O3A1E:O2C"
250 PLAY "O3GO4EDO3B:GAG6:O1B"
260 PLAY "O4E3CEO3A:A3AG1C3D1:A"
270 PLAY "O4EDCO3B:E6D3:G"
```

```
280 IF X=1 THEN 340
290 PLAY "O4C3O3AO4CO3A:O4C1O3E1E:F"
300 PLAY "O4GFGD:E3D5D3:E"
310 PLAY "F3O3AO4F:O4D3DO3B:D6"
320 PLAY "O3B1O4CDEFG7R5:A5G7R5E1F:D3C9"
330 X=1:GOTO 160
340 PLAY "O3A3O4FO3AO4F:C4C1C3E1E:F7"
350 PLAY "O3GBGB:E3D5A3:F"
360 PLAY "O4F3O3GBG:G4E1DO2GO3ED:D"
370 PLAY "O4A3GEDCDC:C9:C9"
380 PALET S 0,10,25,25,25
390 PLAY "O3A1BO4CEO3AB:A1AABO4C3:A6"
400 PLAY "O4CEO3ABO4CE:O3A1B3BO4C1:A0A2G5"
410 PLAY "GGGG:D3O3B:G3E"
420 PLAY "CO3BAGO4GG:O4C1O3BAG3G1:F6"
430 PLAY "GG:CD:G3"
440 PLAY "EEEEECDC:E7:C6G3"
450 PLAY "GBGBGBGB:E3B1B4E1E:E6R0E2"
460 PLAY "O5DCO4BA:O4D3D:E5"
470 PLAY "O5CO4BA#G:C1O3B3A1:E3G"
480 PLAY "AAAAACEGACEGCO3BAG:A9:A5GFE"
490 PLAY "O3A1BO4CEAGFE:A1AABO4CO3A4:A6G3"
500 PLAY "O5ABO4CEGG:B1B3O4D3:E6"
510 PLAY "GG:O3B1B:F3"
520 PLAY "O5DCO4B#G:O4E5:O2E5"
530 PLAY "O5DCO4B#G:R3D:E3D"
540 PLAY "AO5CDEO4AO5CDE:C6O3B3:C5O1B3"
```

```
550 PLAY "CCCCCCCC:A3AA1A4:A6R0A2"
560 PLAY "O4BBBBGGGG:G3GD1E4:G6R0G2"
570 IF W=1 THEN 690
580 IF Z=1 THEN 650
590 IF Y=1 THEN 650
600 PLAY "O5C8R5:C8R3E1F:C8R5"
610 PALET S 0,4,40,25,10
620 Y=1:GOTO 160
630 IF Y=1 THEN 690
640 PLAY "A5O4DC6O3B3:C5FEE:O1AAO2DDCCCC
650 PLAY "O4C7:O3C7:C7"
660 IF Z=1 THEN 680
670 Z=1:GOTO 390
680 W=1:GOTO 390
690 PLAY "O4C7:O3C7:C7"
700 PLAY "C7O3B7:E7E:C7O1B
710 PLAY "C1CCCCCCC:A3AA1A4:A6R0A2"
720 PLAY "O4BBBB:O4D3D:M1D3D"
730 PLAY "G1GGG:D1E4:D1M0E4"
740 PLAY "O5C7:C7:C7"
750 PALET S 0,8,39,39,39
760 CLS
770 LOCATE 11,9:PRINT " * END * "
780 LOCATE 9,10:PRINT "THANK YOU!"
790 RUN
```

第四节　谱曲练习

本节列出几首乐曲的简谱，供读者谱曲练习使用。

一、梅花

《梅花》是一首C大调、3/4拍的单声部演奏乐曲，其简谱如下：

梅　花

1=C　3/4

‖ :5	—	3	6	—	3	2	$\underline{03}$	$\underline{16}$	$\dot{5}$	—	—
$\dot{6}$	1	$\dot{6}$	5	—	6	3	—	—	3	—	—
5	—	3	6	—	3	2	$\underline{03}$	1	$\dot{6}$	—	—
$\dot{5}$	$\dot{6}$	5	3	—	2	1	—	—	1	—	—:‖

二、欢乐颂

《欢乐颂》是一首G大调、4/4拍的单声部演奏乐曲，其简谱如下：

欢　乐　颂

1=C　4/4

‖ 3	4	4	5	5	4	3	2	1	1	2	3
3·	$\underline{22}$	0	3	3	4	5	5	4	3	2	
1	1	2	3	2·	$\underline{1}$	1	0	2	2	3	1

2	34	3	1	2	34	3	2	1	2	5	3
3	3	4	5	5	4	3	2	1	1	2	3
2·	1	1	0								

三、野餐

《野餐》是一首 F 大调、4/4 拍的二声部演奏乐曲，其简谱如下：

野　餐

1＝F　4/4

5·	5	65	31	1·	6·	6·	0
1·	1	11	15·	6·	4·	4·	0
5··	1	31	53	2	—	—	0
5·	5·	55··	11	7·	—	—	0
5·	5	65	31	1·	6·	6·	0
1·	1	11	15·	6·	4·	4·	0
5··	1	32	17·	1	—	—	0
3··	5·	17·	65··	5·	—	—	0
2·	1	23	42	3	—	5	0
7·	#6·	71·	27·	1	—	3	0

6·	6	53	43	2	—	—	0
1·	1	11	21	7	—	—	0
5·	5	65	31	1·	6	6	0
1·	1	11	15	6·	4	4	0
5·	1	32	17	1	—	—	0
3·	5	15	55	5	—	—	0

四、余烬

《余烬》是一首C大调、4/4拍的三声部演奏乐曲，其简谱如下：

余　烬

1=C　4/4

5·	4	35	12	3	—	1	—
3·	2	13	34	5	—	3	—
1·	1	11	15	1	—	1	—
21	72	1	6	5	—	—	0
44	44	3	4	3	—	—	0
55	55	1	1	1	—	—	0
5·	4	35	123	2	—	6	—
3·	2	13	35	4	—	4	—
1·	1	11	15	6	—	2	—

7·	6	57	12	1	—	—	0
4·	4	44	34	3	—	—	0
5·	5	55	57	1	—	1	—

第四章　6527CPU 发声机理

BASIC 程序几乎能演奏所有的乐曲，只要精心策划编程，其演奏效果已与高档电子琴不相上下。

众所周知，6527CPU 也是 65 系列的 8 位中央处理器，它与中华学习机的 6502CPU 是“堂兄弟”。为什么中华学习机发出的声音是那样的单调、呆板，而 6527 却能演奏出如此美妙的乐曲呢？

这要从 6527CPU 的发声机理谈起。

第一节　可编程音响发生器

6527CPU 实际上是一个单片机。在其内部除固化一个 65 系列的中央处理器之外，还固化有存储监控程序的 ROM、至少 24 个 8 位随机存储器 RAM，另外还包含了一个工作于 1. 7897MHz 频率的可编程音响发生器“PSG”(Programmable Sound Generator)。这个 PSG 音源一共提供了五个声音输出通道，其中三个用于产生乐音，能够制作复杂优美的多声部和声旋律；一个用于产生噪声，可以模拟打击乐器；第五个通道可把经过数字录音处理后的数据，还原为原来的声音。

PSG 工作原理如图 4－1 所示。

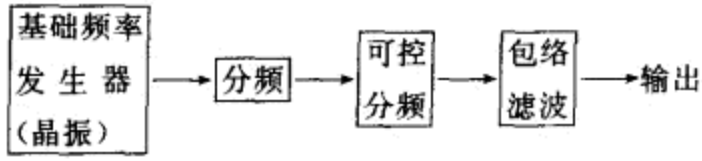


图 4—1　PSG 工作原理框图

6527CPU 音乐通道的输出，是由 1. 7897MHz 信号，经过分频、滤波、润色产生的。由于硬件结构的原因，PSG 实际能够输出乐音的频率下限为 27. 3Hz，而频率上限则已超出人耳的听力范围。

三个乐音通道中，前两个通道能够产生音色可调的乐音输出，第三通道的音色是固定的。然而，由于第三通道产生的声音比第一、二声道低两个八度音程，因此用它做低音伴奏，可获得极佳的效果。值得一提的是，第一、二声道不仅能够发出音量、音长可变的优美乐音，而且只要改变个别参数，还可产生奇妙的滑音效果。

利用噪声通道可以产生不同类型的效果音响，如低音鼓、钹、沙锤等。若用做节奏伴奏时，能增强乐音的丰满程度。另外，利用噪声通道还能产生子弹的呼啸声、爆炸声、火车轰鸣声等逼真的效果。

PSG 的五个发声通道均可独立工作，互不影响。并且一旦发音数据传送完毕，PSG 即可自行工作，无需长期占用 CPU 的工作时间。在新的发声数据送来以前，PSG 将自动持续工作，直到完成发音任务。

第二节　PSG 音源的控制参数

下面详细介绍 PSG 音源的控制参数。

PSG 音源的工作控制单元地址位于 CPU 的 $4000～$4015 一段。CPU 在每次 NMI 中断期间，自动检测该段地址是否有发声数据需要处理。如有数据，则读出数据置入 PSG 音源发生器，由 PSG 控制发出规定的声音。

一、发声控制开关

五个通道的发声，由 $4015 单元的低 5 位控制开关。置“1”打开，置“0”关闭。$4015 各位与发声通道的对应关系如图 4－2 所示。

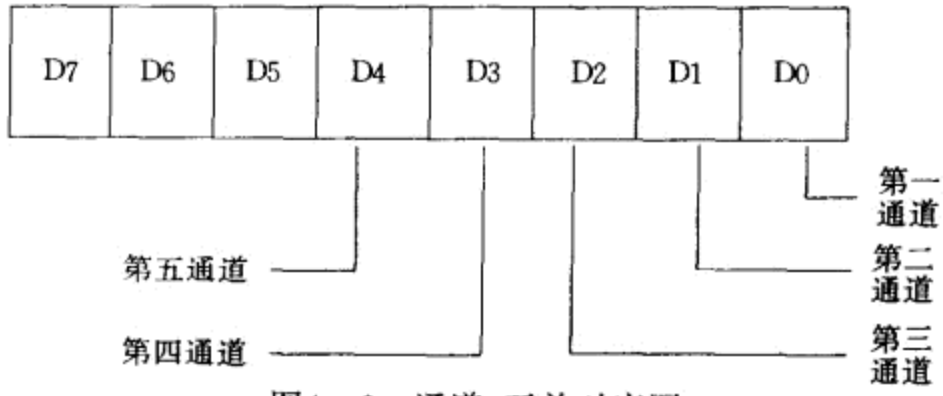


图4－2　通道、开关对应图

二、各通道发声参数控制单元的地址分配

五个发声通道的控制参数单元地址分配在 $4000－$4013，每通道四个字节，分别对应如下：

第一声部：$4000－$4003

第二声部：$4004－$4007

第三声部：$4008－$400B

第四声部：$400C－$400F

第五声部：$4010－$4013

注——通常把发声通道称为“声部”。

三、第一、二通道各参数的功能

1. 第一、二声道(主音通道)的第一个控制参数

第一、二通道的第一个控制参数 $4000、$4004 单元，控制着第一、二通道的发声音色和音量。两个单元的各位对应的功能见表 4－1。

表 4－1　$4000、$4004 单元各位的功能

bit	D7～D6	D5	D4	D3～D0
$4000 (通道 1) $4004 (通道 2)	基本音色 取值： 00～11	1：持续发音 0：单音 (只发音一次)	1：平滑音 0：钟声	持续平滑音的音量 或持续钟声的周期 或单音的音长

说明：

D7、D6 两位控制着第一、二通道所发乐音的音色。其中基本音色“00”平和醇厚(波形占空比为 12·5%)；音色“01”明亮高昂(波形占空比为 25%)；音色“10”(波形占空比为 50%)与音色“11”(波形占空比为 75%)在听觉效果上差别较小。

D5 是持续、单音发声控制位。D5＝1，持续发声，PSG 将发出连续的平滑音或周期性的钟声，直至接受到下一个发音控制数据为止。平滑音的音量由低四位的数值决定，从无声(全 0)到最大音量(全 1)共有 16 级可调。D5＝0 时发单音，单音的音长由 D3～D0 位控制，取值越大、发声时间越长。

D4 为平滑音、钟声控制位。D4＝1 发平滑音；D4＝0 发钟声。钟声的音量不可调节，但可通过 D3～D0 位控制改变相邻两次钟声之间的时间间隔，取值越大间隔时间越长。当设定最小时间间隔(全 0)时，可以得到类似弹拨乐器的琶音

效果。

2. 第一、二声道(主音通道)的第二个控制参数

第一、二通道的第二个控制参数 $4001、$4005 单元，控制着第一、二通道发音的音形包络，由此产生滑音效果。两个单元的各位对应的功能见表 4－2。

表 4－2　$4001、$4005 单元各为的功能

bit	D7	D6～D4	D3	D2～D0
$4001 (通道 1) $4005 (通道 2)	1：滑音效果 0：取消滑音	滑音速度	1：上滑音 0：下滑音	滑音的频率 跳跃间隔

D7 位为滑音效果开关。D7＝1 时，打开包络脉冲发生器开关，从而产生滑音效果。D7＝0 时关闭。

D6～D4 控制包络脉冲的频率(即滑音的变化速度)，其值越小频率越高。

D3 位控制包络脉冲频率的变化趋势。D3＝1 频率先低后高，越来越高；D3＝0，频率先高后低，越来越低。

D2～D0 位控制包络频率的跳跃间隔，其值越小频率跳跃间隔越大(全 0 时没有频率变化，是个例外)。

3. 第一、二声道(主音通道)的第三、四个控制参数

第一、二通道的第三、四个控制参数 $4002、$4003 和 $4006、$4007 单元，控制着第一、二通道发声的音调。其中前一个单元存音调细调参数、后一个单元存音调粗调参数。音符与音调参数的对应关系见表 4－3。

表 4—3　音符与音调数据对照表

音符（唱名）	音调细调	音调粗调	音符（唱名）	音调细调	音调粗调
1	AE	0E	5	75	0C
#1	4E	0E	#5	35	0C
2	F3	0D	6	F8	0B
#2	9E	0D	#6	BF	0B
3	4D	0D	7	89	0B
#3、4	01	0D	#7、1	57	0B
#4	B9	0C	#1	27	0B
2	F9	0A	7	C4	09
#2	CF	0A	#7、1	AB	09
3	A6	0A	#1	93	09
#3、4	80	0A	2	7C	09
#4	5C	0A	#2	67	09
5	3A	0A	3	52	09
#5	1A	0A	#3、4	3F	09
6	FC	09	#4	2D	09
#6	DF	09	5	1C	09
6	FD	08	#5	85	08
			6	7E	08
#6	EE	08			
			#6	76	08
7	E1	08	7	70	08
#7、1	D4	08	#7、1	69	08
#1	C8	08	#1	63	08

续表

音符（唱名）	音调细调	音调粗调	音符（唱名）	音调细调	音调粗调
2	BD	08			
			$\dot{2}$	5E	08
#2	B2	08			
3	A8	08	#$\dot{2}$	58	08
#3、4	9F	08			
			$\dot{3}$	53	08
#4	96	08			
5	8D	08	#$\dot{3}$、$\dot{4}$	4F	08
#$\dot{4}$	4A	08	#$\ddot{2}$	2B	08
$\dot{5}$	46	08	$\ddot{3}$	29	08
#$\dot{5}$	42	08	#$\ddot{3}$、$\ddot{4}$	27	08
$\dot{6}$	3E	08	#$\ddot{4}$	24	08
#$\dot{6}$	3A	08	$\ddot{5}$	22	08
$\dot{7}$	37	08	#$\ddot{5}$	20	08
#$\dot{7}$、$\ddot{1}$	34	08	$\ddot{6}$	1E	08
#$\ddot{1}$	31	08	#$\ddot{6}$	1C	08
$\ddot{2}$	2E	08	$\ddot{7}$	1B	08

四、分频因子

可能有人要问，表 4－3 中的音调粗、细调值是如何得来的呢？

“分频因子”可以回答这一问题。

6527CPU 中，PSG 的分频因子由 11 位组成，由两个单元存储。第一通道的 $4002、第二通道的 $4006 存储分频因

子的低 8 位(bit7～0)；分频因子的高 3 位则存储在 $4003、$4007 的低 3 位(bit10～8)，高五位不用(一般置为 00001)。实际上，分频因子的低 8 位就是音调的细调值、而高 3 位就是音调粗调值(D3≡1)。

下面给出分频因子与发声频率的关系公式：

$$\text{频率 f} = \frac{1.7897\text{MHz}/16}{\text{分频因子} + 1}$$

使用公式(1)可以通过分频因子算出 PSG 的发声频率；也可以根据发声频率计算出对应的分频因子。

例如 $4006 送入 FDH，$4007 送入 8，可以得到分频因子等于 0FDH，带入公式(1)可计算得出第二声部的发声频率为 440Hz(对应键盘乐器小字一组的 A 键)。

又例如要通过 PSG 的第一声部产生频率为 523.25Hz 的小字一组“C”音，把频率带入公式(1)可以计算得到：

$$\text{分频因子} = \frac{1.7897\text{MHz}/16}{523.25\text{Hz}} - 1 = 213$$

换算为十六进制为 0D4H。只要向 $4002 单元置入 D4H，向 $4003 中置入 8 就可令第一声部发出“C”音(对应表 4－3 中的音符“1”)。

可见，使用公式(1)可以计算得出表 4－3 以外音符的音调数据，有兴趣的读者不妨一试。

五、第三声道(低音伴奏通道)的控制参数

由 $4008－400B 控制的第三声道没有音色变化，也不能产生滑音效果。在分频因子相同情况下，第三声道发出的声音要比第一、二声道低两个八度音程。因此，常把第三声道用做低音伴奏。

$4008 中的高两位被忽略，低六位的作用与 $4000、$4004 相同(参见表 4－1)。

$4009 没有作用。

$400A、$400B 控制第三声道的分频因子。

六、第四声道(噪声通道)的控制参数

第四声道占用 $400C－$400F 单元，没有滑音效果。

$400C 作用与 $4000 相同。

$400D 没有作用。

$400E 各位的作用见表 4－4。

表 4－4　$400E 各位的作用

bit	D7	D6～D4	D3～D0
$400E	1:有音高 0:没有音高	音高参数	噪声效果

通过对 $400E 的 D3～D0 位置数，可以设定各种噪声效果，置入的数值越大声音越低越闷。可以做出敲碟子、开枪、闷雷等丰富多采的效果。若在 $400C 单元设定持续发音，还可以逼真地模拟出轮船马达、火车轰鸣等声。

$400F 一般置入 08，它对音高无影响，仅对噪声的发音时值有一定作用。

七、第五声道(语音通道)

在《立体篮球》、《疯狂追捕》等任天堂游戏中，使用了语音提示的特殊技巧。游戏中人类的讲话就是利用第五通道模拟发出的。本通道采用数字化语音技术，采用 DMA 传送方式，把大量的数据迅速传给 CPU，再通过 PSG 处理(高速改

变发声的频率、音量），从而模拟出较高质量的人类讲话声以及其它声音。

由于语音已不属本书的讨论范畴，故这一问题将放在语音专辑《电脑讲话》一书中讨论。

第五章　机器语言程序作曲

通过前面几章的讨论，我们已经了解了 6527CPU 的发声机理，也掌握了演奏工作单元和演奏音符的数据。这犹如已经拥有了建筑技术工人和建筑材料，下一步的工作就是设计什么样的建筑图纸、怎样根据图纸实施建筑方案了。

本章将通过 F BASIC 工作系统中背景音乐的演奏程序分析，介绍机器语言程序作曲的具体实现方法。

第一节　BASIC 发声控制程序简介

发声在 BS・2A 版本的 F BASIC 对话工作系统中起着重要的作用。它不仅能够渲染各板的工作气氛，更重要的是：发出的各种声响提示，标志着各种状态的建立；各种操作的完成；各个阶段的进入和各种功能的实现。使操作者眼观耳听并用，随时了解电脑的工作状况。在同一时间可一边操作电脑一边处理另外的事情，从而提高了操作者的工作效率。

在任天堂游戏程序中，发声将更为重要。有人把发声列为电脑游戏的三大要素之一（背景、角色、音响），确实不过分。《魂斗罗》游戏之所以在众多的电视游戏中独占鳌头，经年不衰，虽然主要取决于它创造力和想象力紧密结合的精彩无匹的背景设计和角色的增强能力，同时也与它那铿锵抑扬的背景音响和世间罕闻的奇妙绝伦的效果音响分不开的。后来的电视游戏诸如：《双截龙》、《沙罗曼蛇》、《松鼠大战》、《人间兵

器》等节目之所以能够一炮打响，得到电玩迷们的青睐，归根结底就在于它们借鉴了《魂斗罗》的处理方法，又加以创造和提高。由此可见，音响——是编好游戏程序的重要一环。分析研究 F BASIC 系统的发声过程和方法，是我们编好音响程序的捷径。

一、系统发声控制程序

系统发声控制程序位于 ROM 区 $FC06～$FEDF；发声数据区在 $8006～$80AC 和 $FEE0～$FFF9。其中 $FEE0～$FFF9 是效果音、背景音乐的数据区，$8006～$80AC 是发声音调数据区。

1. 系统发声控制程序清单

(1) 发声主控程序

```
FC06    A9FF      LDA     #$FF
FC08    8D1740    STA     $4017
FC0B    2098FC    JSR     $FC98
FC0E    A003      LDY     #$03
FC10    B94303    LDA     $0343,Y
FC13    994603    STA     $0346,Y
FC16    A900      LDA     #$00
FC18    994303    STA     $0343,Y
FC1B    88        DEY
FC1C    D0F2      BNE     $FC10
FC1E    AD4903    LDA     $0349
FC21    F00A      BEQ     $FC2D
FC23    A903      LDA     #$03
FC25    8D1540    STA     $4015
FC28    A90F      LDA     #$0F
```

FC2A	8D1540	STA	$ 4015
FC2D	A900	LDA	# $ 00
FC2F	85FF	STA	$ FF
FC31	85FE	STA	$ FE
FC33	A5FD	LDA	$ FD
FC35	8D1140	STA	$ 4011
FC38	F002	BEQ	$ FC3C
FC3A	C6FD	DEC	$ FD
FC3C	AD4003	LDA	$ 0340
FC3F	C920	CMP	# $ 20
FC41	B005	BCS	$ FC48
FC43	A200	LDX	# $ 00
FC45	8E4103	STX	$ 0341
FC48	C980	CMP	# $ 80
FC4A	9003	BCC	$ FC4F
FC4C	EE4103	INC	$ 0341
FC4F	A8	TAY	
FC50	4A	LSR	
FC51	4A	LSR	
FC52	4A	LSR	
FC53	4A	LSR	
FC54	4A	LSR	
FC55	8500	STA	$ 00
FC57	98	TYA	
FC58	AE4103	LDX	$ 0341
FC5B	D005	BNE	$ FC62
FC5D	38	SEC	
FC5E	6500	ADC	$ 00
FC60	D003	BNE	$ FC65
FC62	18	CLC	

```
FC63    E500      SBC    $00
FC65    8D4003    STA    $0340
FC68    60        RTS
```

（2）三个声部赋值子程序

```
FC69    A07F      LDY    #$7F
FC6B    D005      BNE    $FC72
FC6D    A07F      LDY    #$7F
FC6F    8E0040    STX    $4000
FC72    8C0140    STY    $4001
FC75    A200      LDX    #$00
FC77    A8        TAY
FC78    B90680    LDA    $8006,Y
FC7B    9D0240    STA    $4002,X
FC7E    B90780    LDA    $8007,Y
FC81    0908      ORA    #$08
FC83    9D0340    STA    $4003,X
FC86    60        RTS
FC87    A07F      LDY    #$7F
FC89    8C0540    STY    $4005
FC8C    A204      LDX    #$04
FC8E    D0E7      BNE    $FC77
FC90    A208      LDX    #$08
FC92    C902      CMP    #$02
FC94    F0F0      BEQ    $FC86
FC96    D0DF      BNE    $FC77
```

（3）第一声部演奏处理

```
FC98    AD4703    LDA    $0347
FC9B    F008      BEQ    $FCA5
FC9D    2069FC    JSR    $FC69
FCA0    A900      LDA    #$00
```

FCA2	8D4A03	STA	$034A
FCA5	AD4A03	LDA	$034A
FCA8	C936	CMP	#$36
FCAA	B00B	BCS	$FCB7
FCAC	4A	LSR	
FCAD	A8	TAY	
FCAE	B9E6FC	LDA	$FCE6,Y
FCB1	8D0040	STA	$4000
FCB4	EE4A03	INC	$034A

（4）第二声部演奏处理

FCB7	AD4803	LDA	$0348
FCBA	F008	BEQ	$FCC4
FCBC	2087FC	JSR	$FC87
FCBF	A900	LDA	#$00
FCC1	8D4B03	STA	$034B
FCC4	AD4B03	LDA	$034B
FCC7	C936	CMP	#$36
FCC9	B00B	BCS	$FCD6
FCCB	4A	LSR	
FCCC	A8	TAY	
FCCD	B9E6FC	LDA	$FCE6,Y
FCD0	8D0440	STA	$4004
FCD3	EE4B03	INC	$034B

（5）第三声部演奏处理

FCD6	AD4903	LDA	$0349
FCD9	F008	BEQ	$FCE3
FCDB	2090FC	JSR	$FC90
FCDE	A038	LDY	#$38
FCE0	8C084	STY	$4008

```
FCE3        4C5BFD      JMP         $FD5B
```

（6）第一声部音色、音量数据

```
FCE6                    9F 9D 9C 9B 9A 99 98 97 96 95
FCF0  95 94 94 93 93 93 92 92 92 92 91 91 91 91 91 91
FD00  90 48 4C 4E 50 54 58 5C 60 8C 8C 00 00 00 00 83
FD10  83
```

（7）第一声部发声处理

```
FD11        A551        LDA         $51
FD13        2907        AND         #$07
FD15        A8          TAY
FD16        BE01FD      LDX         $FD01,Y
FD19        B909FD      LDA         $FD09,Y
FD1C        A8          TAY
FD1D        D008        BNE         $FD27
FD1F        A08C        LDY         #$8C
FD21        A551        LDA         $51
FD23        1002        BPL         $FD27
FD25        A083        LDY         #$83
FD27        8A          TXA
FD28        60          RTS
FD29        84F0        STY         $F0
FD2B        A95A        LDA         #$5A
FD2D        A003        LDY         #$03
FD2F        84F1        STY         $F1
FD31        A280        LDX         #$80
FD33        206DFC      JSR         $FC6D
FD36        D014        BNE         $FD4C
FD38        84F0        STY         $F0
FD3A        A948        LDA         #$48
```

FD3C	D0EF	BNE	$FD2D
FD3E	84F0	STY	$F0
FD40	2011FD	JSR	$FD11
FD43	A205	LDX	#$05
FD45	86F1	STX	$F1
FD47	A280	LDX	#$80
FD49	206FFC	JSR	$FC6F
FD4C	C6F1	DEC	$F1
FD4E	D034	BNE	$FD84
FD50	A900	LDA	#$00
FD52	85F0	STA	$F0
FD54	A990	LDA	#$90
FD56	8D0040	STA	$4000
FD59	D029	BNE	$FD84
FD5B	A4FF	LDY	$FF
FD5D	A5F0	LDA	$F0
FD5F	4A	LSR	
FD60	46FF	LSR	$FF
FD62	4A	LSR	
FD63	B0E7	BCS	$FD4C
FD65	46FF	LSR	$FF
FD67	B0C0	BCS	$FD29
FD69	4A	LSR	
FD6A	B0E0	BCS	$FD4C
FD6C	46FF	LSR	$FF
FD6E	B0C8	BCS	$FD38
FD70	4A	LSR	
FD71	B0D9	BCS	$FD4C
FD73	46FF	LSR	$FF
FD75	B0C7	BCS	$FD3E
FD77	4A	LSR	

FD78	46FF	LSR	$FF
FD7A	4A	LSR	
FD7B	46FF	LSR	$FF
FD7D	4A	LSR	
FD7E	B017	BCS	$FD97
FD80	46FF	LSR	$FF
FD82	B003	BCS	$FD87
FD84	4C14FE	JMP	$FE14
FD87	84F0	STY	$F0
FD89	A93E	LDA	#$3E
FD8B	85F1	STA	$F1
FD8D	A918	LDA	#$18
FD8F	2075FC	JSR	$FC75
FD92	A986	LDA	#$86
FD94	8D0140	STA	$4001
FD97	A5F1	LDA	$F1
FD99	C938	CMP	#$38
FD9B	D005	BNE	$FDA2
FD9D	A0BD	LDY	#$BD
FD9F	8C0140	STY	$4001
FDA2	4A	LSR	
FDA3	B004	BCS	$FDA9
FDA5	A990	LDA	#$90
FDA7	D008	BNE	$FDB1
FDA9	C90A	CMP	#$0A
FDAB	9002	BCC	$FDAF
FDAD	A90A	LDA	#$0A
FDAF	0990	ORA	#$90
FDB1	8D0040	STA	$4000
FDB4	D096	BNE	$FD4C

(8) 第三声部发声处理

FDB6	A5FD	LDA	$FD
FDB8	18	CLC	
FDB9	6903	ADC	#$03
FDBB	C960	CMP	#$60
FDBD	B002	BCS	$FDC1
FDBF	85FD	STA	$FD
FDC1	A908	LDA	#$08
FDC3	8D0840	STA	$4008
FDC6	A5F3	LDA	$F3
FDC8	D007	BNE	$FDD1
FDCA	A97E	LDA	#$7E
FDCC	8D0A40	STA	$400A
FDCF	D004	BNE	$FDD5
FDD1	C6F3	DEC	$F3
FDD3	D01B	BNE	$FDF0
FDD5	A20A	LDX	#$0A
FDD7	98	TYA	
FDD8	2908	AND	#$08
FDDA	F002	BEQ	$FDDE
FDDC	A207	LDX	#$07
FDDE	86F3	STX	$F3
FDE0	98	TYA	
FDE1	2940	AND	#$40
FDE3	D026	BNE	$FE0B
FDE5	A551	LDA	$51
FDE7	AA	TAX	
FDE8	29F0	AND	#$F0
FDEA	D017	BNE	$FE03
FDEC	A901	LDA	#$01

FDEE	D015	BNE	$FE05
FDF0	98	TYA	
FDF1	2908	AND	#$08
FDF3	D01C	BNE	$FE11
FDF5	A5F3	LDA	$F3
FDF7	C905	CMP	#$05
FDF9	D016	BNE	$FE11
FDFB	98	TYA	
FDFC	2920	AND	#$20
FDFE	D00B	BNE	$FE0B
FE00	AE4003	LDX	$0340
FE03	A900	LDA	#$00
FE05	8D4303	STA	$0343
FE08	8E0A40	STX	$400A
FE0B	AD4303	LDA	$0343
FE0E	8D0B40	STA	$400B
FE11	4C93FE	JMP	$FE93

（9）第二声部发声处理

FE14	A4FC	LDY	$FC
FE16	A5FA	LDA	$FA
FE18	D00A	BNE	$FE24
FE1A	98	TYA	
FE1B	2908	AND	#$08
FE1D	D097	BNE	$FDB6
FE1F	98	TYA	
FE20	2910	AND	#$10
FE22	D09D	BNE	$FDC1
FE24	98	TYA	
FE25	2903	AND	#$03
FE27	D006	BNE	$FE2F

```
FE29    85FB    STA    $FB
FE2B    85F3    STA    $F3
FE2D    F04B    BEQ    $FE7A
FE2F    45FB    EOR    $FB
FE31    F01E    BEQ    $FE51
FE33    A5FC    LDA    $FC
FE35    85FB    STA    $FB
FE37    0A      ASL
FE38    0A      ASL
FE39    A8      TAY
FE3A    D00D    BNE    $FE49
FE3C    A551    LDA    $51
FE3E    2903    AND    #$03
FE40    85F4    STA    $F4
FE42    A5FC    LDA    $FC
FE44    0A      ASL
FE45    0A      ASL
FE46    05F4    ORA    $F4
FE48    A8      TAY
FE49    B9DCFE  LDA    $FEDC,Y
FE4C    85F4    STA    $F4
FE4E    4C55FE  JMP    $FE55
FE51    C6F6    DEC    $F6
FE53    D025    BNE    $FE7A
FE55    A4F4    LDY    $F4
FE57    E6F4    INC    $F4
FE59    B9ECFE  LDA    $FEEC,Y
FE5C    F0DE    BEQ    $FE3C
FE5E    AA      TAX
FE5F    6A      ROR
FE60    8A      TXA
```

```
FE61    2A       ROL
FE62    2A       ROL
FE63    2A       ROL
FE64    2907     AND     #$07
FE66    A8       TAY
FE67    B9F4FF   LDA     $FFF4,Y
FE6A    85F6     STA     $F6
FE6C    8A       TXA
FE6D    293E     AND     #$3E
FE6F    C902     CMP     #$02
FE71    F007     BEQ     $FE7A
FE73    2087FC   JSR     $FC87
FE76    A900     LDA     #$00
FE78    85F8     STA     $F8
FE7A    A4F8     LDY     $F8
FE7C    C008     CPY     #$08
FE7E    B008     BCS     $FE88
FE80    B98BFE   LDA     $FE8B,Y
FE83    8D0440   STA     $4004
FE86    E6F8     INC     $F8
FE88    4C93FE   JMP     $FE93
```

(10) 第二声部音色音量数据

```
FE8B                        94 93 92 92 91
FE90  91 91 90
```

(11) 第三声部效果音的发声处理

```
FE93    A5FA     LDA     $FA
FE95    D017     BNE     $FEAE
FE97    A5FE     LDA     $FE
FE99    85FA     STA     $FA
```

FE9B	F042	BEQ	$FEDF
FE9D	A008	LDY	#$08
FE9F	0A	ASL	
FEA0	B003	BCS	$FEA5
FEA2	88	DEY	
FEA3	D0FA	BNE	$FE9F
FEA5	B98AFF	LDA	$FF8A,Y
FEA8	85F5	STA	$F5
FEAA	A901	LDA	#$01
FEAC	85F7	STA	$F7
FEAE	C6F7	DEC	$F7
FEB0	D02D	BNE	$FEDF
FEB2	A4F5	LDY	$F5
FEB4	E6F5	INC	$F5
FEB6	B98BFF	LDA	$FF8B,Y
FEB9	D007	BNE	$FEC2
FEBB	85FA	STA	$FA
FEBD	8D0840	STA	$4008
FEC0	F01D	BEQ	$FEDF
FEC2	1009	BPL	$FECD
FEC4	85F9	STA	$F9
FEC6	A4F5	LDY	$F5
FEC8	E6F5	INC	$F5
FECA	B98BFF	LDA	$FF8B,Y
FECD	2090FC	JSR	$FC90
FED0	A5F9	LDA	$F9
FED2	2970	AND	#$70
FED4	4A	LSR	
FED5	4A	LSR	
FED6	8D0840	STA	$4008
FED9	A5F9	LDA	$F9

FEDB	290F	AND	# $ 0F
FEDD	85F7	STA	$ F7
FEDF	60	RTS	

2. 音调数据区结构

8006							AE	0E	4E	0E	F3	0D	9E	0D	4D	0D
8010	01	0D	B9	0C	75	0C	35	0C	F8	0B	BF	0B	89	0B	57	0B
8020	27	0B	F9	0A	CF	0A	A6	0A	80	0A	5C	0A	3A	0A	1A	0A
8030	FC	09	DF	09	C4	09	AB	09	93	09	7C	09	67	09	52	09
8040	3F	09	2D	09	1C	09	0C	09	FD	08	EE	08	E1	08	D4	08
8050	C8	08	BD	08	B2	08	A8	08	9F	08	96	08	8D	08	85	08
8060	7E	08	76	08	70	08	69	08	63	08	5E	08	58	08	53	08
8070	4F	08	4A	08	46	08	42	08	3E	08	3A	08	37	08	34	08
8080	31	08	2E	08	2B	08	29	08	27	08	24	08	22	08	20	08
8090	1E	08	1C	08	1B	08										

PLAY 语句的执行参数

8096							01	02	03	04	06	08	0C	10	18	20
80A0	12	16	00	04	08	0A	0E	00	18	30	48	60	78			
								O0	O1	O2	O3	O4	O5			

3. 效果音、背景音乐数据区结构

FEE0	00	00	0E	22	31	31	45	66	84	84	8D	96	71	6C	AA	B0
FEF0	EC	E6	6A	AA	66	A2	AA	E6	D8	00	70	70	70	6C	AA	B0
FF00	AC	AA	E6	6A	6A	6A	66	A2	AA	67	58	9C	A0	00	DC	A0
FF10	5C	60	E2	A6	.62	66	EA	AC	6A	6C	F0	E2	00	B0	AA	A2
FF20	66	6A	AC	A6	A0	62	66	AA	A2	9C	60	62	A6	A0	98	A6
FF30	00	70	6A	70	6A	70	6A	70	6A	6C	66	6C	66	6C	66	6C

```
FF40    66 6A 62 6A 62 6A 62 6A 62 66 58 5C 60 62 66 6A
FF50    6C 00 70 6C 6A 70 6C 6A 66 6C 6A 66 62 6A 66 58
FF60    5C 60 70 6C 6A 70 6C 6A 66 6C 6A 66 62 6A E6 00
FF70    3A 34 2C 34 3A 34 2C 34 00 3E 36 2C 36 3E 36 2C
FF80    36 00 3A 30 2A 30 3A 30 2A 30 00 08 11 21 2B 2B
FF90    31 5C 60 B3 30 38 3E 48 50 56 60 00 92 52 60 50
FFA0    5E 4E 5C 4C 5A 4A 58 A4 48 60 78 00 A4 48 56 4C
FFB0    5A 50 5E 52 60 00 A2 48 50 56 60 00 FA 48 C5 48
FFC0    48 FA 48 F5 50 50 50 02 FA 48 FA 50 C5 50 50 FA
FFD0    50 F5 56 56 56 02 FA 50 FA 56 C5 56 56 FA 56 F5
FFE0    60 60 60 60 02 02 00 A4 52 5A 00 92 48 4C 50 54
FFF0    58 5C 60 00 08 0A 14 28 50 1E
```

二、系统发声程序结构分析

按功能可将发声控制程序 $FC06～$FEDF 分为八段，每段程序的分工如下：

1. 发声主控程序

$FC06～$FC68

主控程序完成发声数据的采集、发声工作单元的复位、发声随机数的产生和发声开关的状态设置，它控制了整个发声系统的工作。

2. 三个声部赋值子程序

$FC69～$FC97

该子程序完成对三个声部的 12 个工作单元分别赋值，赋值数据主要取自于 $8006～$80AC。

3. 音乐板演奏处理程序

$FC98～$FCE2

该段程序完成 MUSIC 板三段音符(上、中、下段)的演奏(对应于三个声部),是 MUSIC 板的主要工作程序。

4. 音色、音量参数采集子程序

$FCE6～$FD28

该子程序完成音色、音量参数的采集,其中 $FCE6～$FD10 为音色、音量数据区。它把每个单音的音量从强到弱分为 27 段,从而控制发出较长的衰减音。

5. 第一声部效果音处理程序

$FD29～$FDB5

第一声部的效果音主要由 $FF 单元控制发出。因此,对话工作系统中送显字符时的"哒"声、"当"声、"啾"声和送显运算结果完毕后的"嘟噜"声都由该段程序控制发出。

6. $FC 控制发效果音程序

$FDB6～$FE10

该段程序的作用是:由 $FC 单元控制第三声部发出效果音。复位画面中的"嘟嘟"声($FC=70)、不规则的"滴哒"声($FC=10)和对话板等待操作者输入时发出的由强到弱的"哆哆"声($FC=68)等都由该段程序控制发出。

7. 背景音乐伴奏控制程序

$FE14～$FE92

计算板(CAL.)、打字板(MES.)的背景音乐由该段程序控制发出。它可控制发出三种不同旋律的背景音乐,每一种旋律由三段乐章组成,分别由 $FC=1、$FC=2、$FC=3 控制。当 $FC=1 时为 CAL. 板背景音乐伴奏、$FC=2 时为 MES. 板背景音乐伴奏、$FC=3 时的背景音乐没有使用。

8. $FE 控制发效果音程序

$FE93～$FEDF

该段程序通过$FE单元控制可使第三声部发出一串“嘟噜”声($FE=1)；COMPUTER栏每次送显完毕后的“叽哩咕噜”声($FE=2)；从复位画面进入对话板时的效果音($FE=4)；按回车键时的“嘟噜”声($FE=10)和按功能键或输入字符时发出的“发啦”声($FE=40)，还有一段小号音色的进行曲($FE=20)等等。

第二节　效果音响数据与发声工作单元

一、效果音响

F BASIC的对话工作系统中有着不同的音响，标志着各项工作的完成情况。为便于以后讨论，特将音响数据汇总归类列于表5－1。

表5－1　对话工作系统中的音响数据汇总表

控制单元	发声数据	音响效果	持续时间	使用场合
FC	01	背景音乐	贯彻始终	CAL. 板
FC	02	背景音乐	贯彻始终	MES. 板
FC	70	连续的“嘟嘟”声	6.0秒	复位画面
FC	10	不规则“滴哒”声	12.8秒	复位画面
FC	70	变调的“嘟嘟”声	3.2秒	复位画面
FC	68	轻微的“哆哆”声	持续	对话板等待操作者输入
FE	01	一长串“嘟噜”声		换板时
FE	02	“叽哩咕噜”声		电脑栏送显完毕时

续表

控制单元	发声数据	音响效果	持续时间	使用场合
FE	04	《七宝奇谋》进小屋		从复位画面进入对话板
FE	10	“嘟噜”声		按回车键时
FE	40	“发啦”声		按功能键或输入字符时
FF	02	“哒哒”声		电脑栏送显字符时
FF	04	“当当”声		操作者栏送显字符时
FF	08	“啾……”声		计算板送显运算结果时
FF	40	一长串“咕噜”声		计算板送显结果结束时

二、重要工作单元

发声程序使用了$F0～$FF共16个零页单元和11个三页单元。各单元的作用如下。

1. 零页单元的作用

$F0:第一声部发声标志。

$F1:第一声部音长控制器

$F3:第三声部音长控制器(效果音响)

$F4:第二声部更换音符变址指针

$F5:第三声部更换音符变址指针

$F6:第二声部音长控制器

$F7:第三声部音长控制器(旋律)

$F8:第二声部音量控制器

$F9:第三声部旋律、音长参数暂存器

$FA:第三声部发声开关。等于0关闭;等于1开启。

$FB:$FC数据暂存器

$FC:发声种类选择器和背景音乐选择器

$FD:第五声部赋值工作单元

$FE:第三声部效果音选择器

$FF:第一声部效果音选择器

2. 三页单元的作用

发声处理程序使用了三页中$340～$34B共11个单元。其中:

$340为音调随机数发生器,用于控制第三声部在复位画面中发出"滴哒"声,取值范围为20H～80H。

$341为音调升、降调控制器,由它控制$340产生由升调转为降调、再由降调转为升调的音调数据。当$341=0时,$340为降调随机数发生器;当$341=1时,$340为升调随机数发生器。

$343为第三声部音调粗调控制器。

$344～$34B的作用见表5—2。

表5—2 三个主声部占用三页单元汇总表

发声声部	发声数据暂存单元	发声工作单元	发声计数器(音长控制)
第一声部	344	347	34A
第二声部	345	348	34B
第三声部	346	349	

第三节 $FC单元控制发声过程分析

一、复位画面中三种音响的发声过程

1. $FC=70的发声过程

我们知道，$FC=70 时将发出连续 6 秒钟的“嘟嘟”声。下面讨论这一发声过程。

（1）执行 $FC06 程序时，经调用发声处理子程序 $FC98、转 $FE14，因 $FC=70、有

70 AND 10=10

因而转 $FDC1。

（2）执行 $FDC1，对第三声部音量赋值，令 $4008=8；对第三声部音调细调赋值，令 $400A=7E。

（3）转 $FDD5 对第三声部发声音长控制器赋值，令 $F3=0A。

（4）因 $FC=70，有

70 AND 40=40

故执行 $FDE1 时转 $FE0B，对第三声部音调粗调单元赋值，令 $400B= $343=0（$343 的初值为 0）。

（5）通过(2)～(4)的三项操作，使第三声部开始发声。

（6）以后每执行一次中断服务程序、$F3 减一，只要 $F3≠0 就一直持续发声，发声 0.2 秒后，因 $F3=0 则对 $400A、$400B、$F3 重新赋值，发下一个“嘟”声。由于每次对 $400A、$400B 所置数值相同，所以发出持续的“嘟嘟”声。

2. $FC=10 的发声过程

当“嘟嘟”声持续 6 秒钟后，$FC 由 70H 变为 10H。我们知道：当 $FC=10 时将发出不规则的“滴哒”声。现在讨论其发声过程。

（1）执行 $FE14，因

$FC AND 10=10

转 $FDC1，令 $4008=8、$400A=7E。

(2) 转 $FDD5 对音长控制器赋值，令 $F3=0A。

因

$FC AND 40=0

所以取 $51 中的随机数送入 $400A，置音调细调值，并判断 $51 单元的随机数值与 F0H 相与的结果：

当 $51 AND F0=0 时，令 $343=1、$400B=1；

当 $51 AND F0≠0 时，令 $343=0、$400B=0。

从而改变了第三声部的音调粗调值。

(3) 当经过五个中断周期(即发声 0.1 秒后)、$F3=5 时，将从音调随机数单元 $340 中取值送入 $400A、并令 $400B=0，从而使后五个中断周期的发声变换音调。

(4) 当又发声 0.1 秒后、$F3=0，则又重新对 $F3 赋值，继续发声。可见 $F3 每次赋值发出两个音调，每个音调发声持续 0.1 秒钟。如此周而复始。由于 $51 单元数值的随机性和 $340 单元数值升、降调的周期性，从而使第三主声部音调细调值随机设定，发出不规则的“滴滴哒哒”的声响。

3. 第二次 $FC=70 的发声过程

当不规则声响持续 12.8 秒后，又令 $FC=70。这时虽然又重复 $FC=70 的工作过程，但由于现在的 $343 取值在 0、1、2 之间随机确定，所以当第二次 $FC=70 时，往往发出高音调的连续的“嘟嘟”声。这就是两次 $FC=70 有时发声音调不同的原因。

二、计算板背景音乐的发声过程

在 CAL·板的工作中，有以进行速度的打击音乐伴随始终。它是由 $FC=1 而启动的。该背景音乐共由三段乐章组成，下面分别讨论。

1、第一乐章

(1)启动 CAL·板的背景音乐时 $FC＝1。当执行 $FE14 时，令 Y＝$FC＝1。从而有

$FC　AND　3≠0

转 $FE2F，令 $FC 左移两次后送入 Y 寄存器，转 $FE49，以 Y 为变址指针，从 $FEE0 中取数送入 $F4、令 $F4＝0。

(2)转 $FE55，以 $F4 为变址，令 Y＝$F4，然后令 $F4＋1，从 $FEEC＋Y 中取出数据置入 A 寄存器、A＝71，通过 $FE5E～$FE66 的一系列处理后，Y＝5。再从 $FFF4＋Y 中取出数据对第二声部音长控制器 $F6 赋值、令 $F6＝1E。

(3)再令

A＝71　AND　3E＝30

调第二声部赋值子程序，令

$4005＝7F

$4006＝AB

$4007＝09

(4)执行 $FE80，令 $4004＝94，从而令第二声部发出“1”音。

(5)在下一次中断期间，由于执行 $FE2F 时有

$FC　XOR　$FB＝0

故转 $FE51 令音长计数器 $F6 减一，再转 $FE7A 令 $4004＝93，使音量减小一级。

(6)$FE8B～$FE92 为第二声部八级音量数据，由它们控制第二声部的发声音量逐渐衰减，最后关闭音量。第二声部的发声响度曲线如图 5－1 所示。

(7)从图 5－1 可见，二声部的第一个音符发声时间为 8

个中断周期(即 0.16 秒)，而音长控制器 $F6 的取值为 1EH，即 30 个中断周期(0.6 秒)，发声时间约占音长的四分

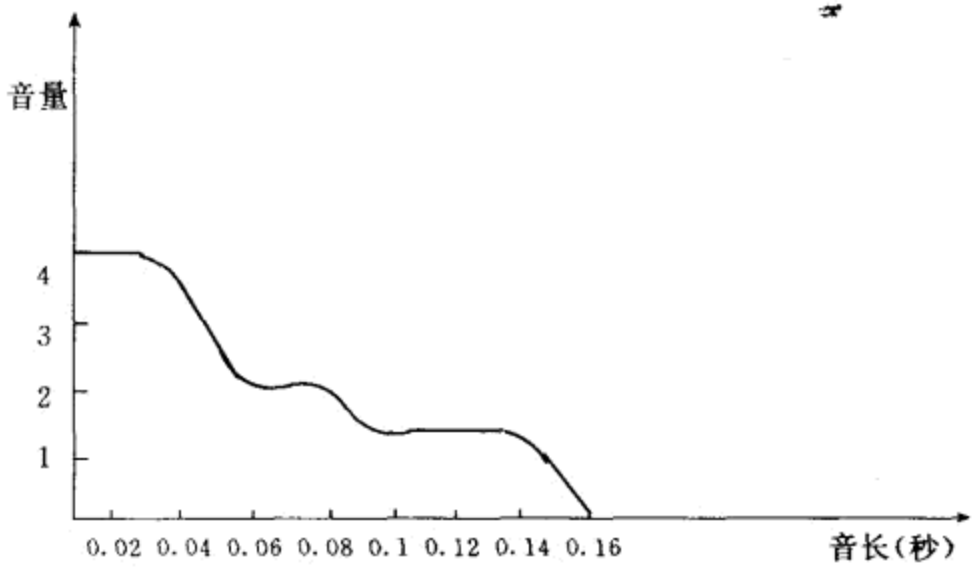


图 5－1　第二主声部发声音量衰减曲线

之一，若以 0.2 秒为一个节拍，则“1”音的简谱节奏应为

‖ 1 • 0 0 0 ‖

(8)当经过 30 个中断周期、$F6＝0 后，则由 $F4 变址，从 $FEEC＋$F4 中取出 $F6 的赋值变址基数，A＝$FEED＝6C，经过 $FE5E～$FE66 的运算处理，查出音长控制器 $F6 的值为 0AH，即 $F6＝0A。

(9)令　　A＝6C AND 3E＝2C

调 $FC87，令　$4005＝7F

$4006＝DF

$4007＝09

发出“6 #”音。

(10)“6 #”的发声时间仍为 0.16 秒，而 $F6 控制的延时

时间为 0.2 秒，故“6#”音的节奏近似为

‖ 6# • 0 ‖

以后各音符的发音过程基本相同，现将各有关数据列于表 5－3，以供参考。每个音符的发音过程留给读者分析。

表 5－3 CAL·板背景音乐第一乐章数据一览表

$ F4	A 寄存器（$FEEC+$F4）	$ F6	A AND 3E	$ 4006	$ 4007	对应的音符	音符的节奏
0	71	1E	30	AБ	09	1	1 • 0 0 0
1	6C	0A	2C	DF	09	6#	6# • 0
2	AA	14	2A	FC	09	6	6 • 0 0
3	B0	14	30	AB	09	1	1 • 0 0
4	EC	28	2C	DF	09	6#	6# • 0 000
5	E6	28	26	3A	0A	5	5 • 0 000
6	6A	0A	2A	FC	09	6	6 • 0
7	AA	14	2A	FC	09	6	6 • 0 0
8	66	0A	26	3A	0A	5	5 • 0
9	A2	14	22	80	0A	4	4 • 0 0
A	AA	14	2A	FC	09	6	6 • 0 0
B	E6	28	26	3A	0A	5	5 • 0 000
C	D8	28	18	57	0B	1	1 • 0 000
D	00						

把表 5－3 中各音符按节奏排列就组出了 CAL·板背景

音乐的第一乐章的旋律。简谱如下：

$$\|\underline{\underline{1\cdot 0}}\ \ 0\ \ 0\ \ \underline{\underline{\dot{6}\#\cdot 0}}\ |\ \underline{\underline{\dot{6}\cdot 0}}\ \ 0\ \ \underline{\underline{1\cdot 0}}\ \ 0\ |$$

$$|\underline{\underline{\dot{6}\#\cdot 0}}\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ |\ \underline{\underline{\dot{5}\cdot 0}}\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ |$$

$$|\underline{\underline{\dot{6}\cdot 0}}\ \ \underline{\underline{\dot{6}\cdot 0}}\ \ 0\ \ \underline{\underline{\dot{5}\cdot 0}}\ |\ \underline{\underline{\dot{4}\cdot 0}}\ \ 0\ \ \underline{\underline{\dot{6}\cdot 0}}\ \ 0\ |$$

$$|\underline{\underline{\dot{5}\cdot 0}}\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ |\ \underline{\underline{1\cdot 0}}\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \|$$

2、第二乐章

当 $F4 = 0D、执行 $FE59 时，A = $FEF9 = 0，则转 $FE3B，把 $51 AND 3 的数值赋给 $F4。假设现在 $51 中的随机数为 3E（取第 206 次循环数据），则有 $F4 = 2。以 $FC 左移两位后与 $F4 相或的值为变址指针，从 $FED4 数据区查出 $F4 的新值为 $F4 = $FEE2 = 0E，转 $FE55。这时将演奏 CAL·板背景音乐的第二乐章，对应音符数据见表 5—4。

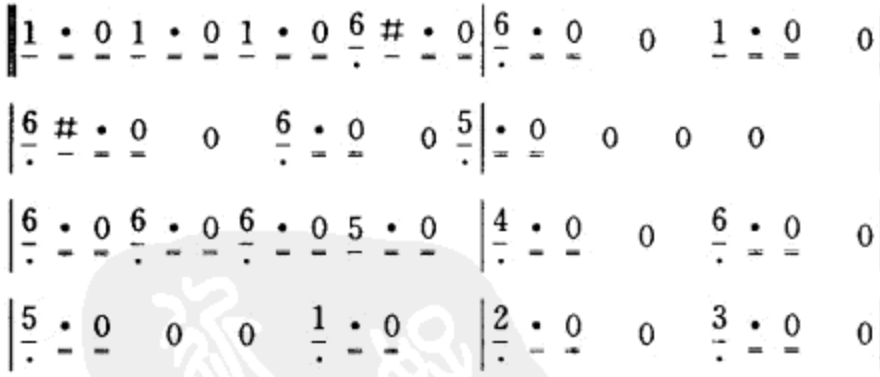
表 5—4 CAL·板背景音乐第二乐章数据一览表

$ F4	A 寄存器（$FEEC+$F6）	$ F6	A AND 3E	$ 4006	$ 4007	对应的音符	音符的节奏
E	70	0A	30	AB	09	1	$\underline{\underline{1\cdot 0}}$
F	70	0A	30	AB	09	1	$\underline{\underline{1\cdot 0}}$
10	70	0A	30	AB	09	1	$\underline{\underline{1\cdot 0}}$
11	6C	0A	2C	DF	09	$\dot{6}\#$	$\underline{\underline{\dot{6}\#\cdot 0}}$
12	AA	14	2A	FC	09	$\dot{6}$	$\underline{\underline{\dot{6}\cdot 0\,0}}$
13	B0	14	30	AB	09	1	$\underline{\underline{1\cdot 0\,0}}$
14	AC	14	2C	DF	09	$\dot{6}\#$	$\underline{\underline{\dot{6}\#\cdot 0\,0}}$
15	AA	14	2A	FC	09	$\dot{6}$	$\underline{\underline{\dot{6}\cdot 0\,0}}$

续表

$ F4	A 寄存器（$FEEC+$F6）	$ F6	A AND 3E	$ 4006	$ 4007	对应的音符	音符的节奏
16	E6	28	26	3A	0A	5	5 · 0 000
17	6A	0A	2A	FC	09	6	6 · 0
18	6A	0A	2A	FC	09	6	6 · 0
19	6A	0A	2A	FC	09	6	6 · 0
1A	66	0A	26	3A	0A	5	5 · 0
1B	A2	14	22	80	0A	4	4 · 0 0
1C	AA	14	2A	FC	09	6	6 · 0 0
1D	67	1E	26	3A	0A	5	5 · 0 00
1E	58	0A	18	57	0B	1	1 · 0
1F	9C	14	1C	F9	0A	2	2 · 0 0
20	A0	14	20	A6	0A	3	3 · 00
21	00						

第二乐章的旋律为：



3、第三乐章

当 $F4＝21，在执行 $FE59 时，又有 A＝ $FF0D＝0，从而第二乐章演奏结束。又取 $51 AND 3 的数值，假定现

在$51=87(取第301次循环数据),则有$F4=3,经移位换算后查出$F4=$FEE3=22,从而转入CAL·板背景音乐的第三乐章。对应的音符数据见表5-5。

表5-5 CAL·板背景音乐第三乐章数据一览表

$ F4	A寄存器($FEEC+$F6)	$ F6	A AND 3E	$ 4006	$ 4007	对应的音符	音符的节奏
22	DC	28	1C	F9	0A	2	2 · 0 000
23	A0	14	20	A6	0A	3	3 · 00
24	5C	0A	1C	F9	0A	2	2 · 0
25	60	0A	20	A6	0A	3	3 · 0
26	E2	28	22	80	0A	4	4 · 0 000
27	A6	14	26	3A	0A	5	5 · 0 0
28	62	0A	22	80	0A	4	4 · 0
29	66	0A	26	3A	0A	5	5 · 0
2A	EA	28	2A	FC	09	6	6 · 0 000
2B	AC	14	2C	DF	09	6#	6# · 0 0
2C	6A	0A	2A	FC	09	6	6 · 0
2D	6C	0A	2C	DF	09	6#	6# · 0
2E	F0	28	30	AB	09	1	1 · 0 000
2F	E2	28	22	80	0A	4	4 · 0 000
30	00						

第三乐章的旋律为：

$$
\begin{array}{|l}
\hline
\dot{2}\cdot 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \mid \dot{3}\cdot 0 \quad 0 \quad \dot{2}\cdot 0 \quad \dot{3}\cdot 0 \mid \\
\dot{4}\cdot 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \mid \dot{5}\cdot 0 \quad 0 \quad \dot{4}\cdot 0 \quad \dot{5}\cdot 0 \mid \\
\dot{6}\cdot 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \mid \dot{6}\#\cdot 0 \quad 0 \; 6\cdot 0 \; 6\#\cdot 0 \mid \\
\dot{1}\cdot 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \mid \dot{4}\cdot 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \mid\mid
\end{array}
$$

通过以上讨论可见，由于 $51 取值的随机性，使三段乐章的组合也带有随机性，从而使背景音乐变化繁复、丰富多彩。这给我们以较少的数据演奏较复杂的音乐提供了极具参考价值的范例。

若把以上三段乐章随机组合，并考虑到人耳的听觉惰性，把每个音符的发声时间由 3/4 拍近似为一拍，然后再把每两拍合为一拍，则可组出一段很动听的乐章。旋律如下：

$$
\begin{array}{|l}
\hline
\|:\dot{1}0 \quad \dot{0}6\# \quad \dot{6}0 \quad \dot{1}0 \mid \dot{6}\#0 \quad 0 \quad \dot{5}0 \quad 0 \mid \\
\dot{6}\dot{6} \quad \dot{0}5 \quad \dot{4}0 \quad \dot{6}0 \mid \dot{5}0 \quad 0 \quad \dot{1}0 \quad 0 \mid \\
\dot{1}0 \quad \dot{0}6\# \quad \dot{6}0 \quad \dot{1}0 \mid \dot{6}\#0 \quad 0 \quad \dot{5}0 \quad 0 \mid \\
\dot{6}\dot{6} \quad \dot{0}5 \quad \dot{4}0 \quad \dot{6}0 \mid \dot{5}0 \quad 0 \quad \dot{1}0 \quad 0 \mid \\
\dot{1}\dot{1} \quad \dot{1}6\# \quad \dot{6}0 \quad \dot{1}0 \mid \dot{6}\#0 \quad \dot{6}0 \quad \dot{5}0 \quad 0 \mid \\
\dot{6}\dot{6} \quad \dot{6}5 \quad \dot{4}0 \quad \dot{6}0 \mid \dot{5}0 \quad \dot{0}1 \quad \dot{2}0 \quad \dot{3}0 \mid \\
\dot{2}0 \quad 0 \quad \dot{3}0 \quad \dot{2}3 \mid \dot{4}0 \quad 0 \quad \dot{5}0 \quad \dot{4}5 \mid \\
\dot{6}0 \quad 0 \quad \dot{6}\#0 \quad \dot{6}\dot{6}\# \mid \dot{1}0 \quad 0 \quad \dot{4}0 \quad 0 \mid
\end{array}
$$

11	16#	60	10	6#0	60	50	0
66	65	40	60	50	01	20	30
20	0	30	23	40	0	50	45
60	0	6#0	66#	10	0	40	0
10	06#	60	10	6#0	0	50	0
66	05	40	60	50	0	10	0:

实际上，CAL·板的背景音乐也确实如此演奏。

三、MES·板背景音乐的发声过程

MES·板背景音乐的发声过程与CAL·板相同，不再赘述，仅给出背景音乐的旋律，读者可自己分析一遍。

MES·板背景音乐由$FC＝2启动，音乐数据在$FF1D～$FF6E。它也由三段乐章组成，各乐章的旋律如下：

1. 第一乐章旋律

1·0	0	6·0	0	4·0	0	5·0	6·0
6#·0	0	5·0	0	3·0	0	4·0	5·0
6·0	0	4·0	0	2·0	0	3·0	4·0
5·0	0	3·0	0	1·0	0	5·0	0

2. 第二乐章旋律

1·0	6·0	1·0	6·0	1·0	6·0	1·0	6·0

6 #·0 5·0	6 #·0 5·0	6 #·0 5·0	6 #·0 5·0
6·0	4·0	6·0	4·0	6·0	4·0	6·0	4·0
5·0	1·0	2·0	3·0	4·0	5·0	6·0	6 #·0

3. **第三乐章旋律**

1·0 6 #·0	6·0	1·0	6 #·0	6·0	5·0	6 #·0
6·0	5·0	4·0	6·0	5·0	1·0	2·0	3·0
1·0 6 #·0	6·0	1·0	6 #·0	6·0	5·0	6 #·0
6·0	5·0	4·0	6·0	5·0

四、第三种背景音乐介绍

若仔细分析 $FEE0～$FF78 的背景音乐数据区，可以发现数据区中还暗藏了一段背景音乐数据，我们可以很方便地调出，用在自己的游戏程序中。

令 $FC＝3，可以调出第三种背景音乐，它也由三段乐章组成，其旋律如下：

4·0	2·0	6 #·0 2·0	4·0	2·0	6 #·0 2·0
5·0 2 #·0	6 #·0 2 #·0	5·0 2 #·0	6 #·0 2 #·0
4·0	1·0	6·0	1·0	4·0	1·0	6·0	1·0

五、$FC 单元＝68 时的发声过程

在对话板中，电脑等待操作者输入时发出的“哆哆”声是令 $FC＝68 实现的。其发声过程如下：

1. 执行 $FE14 时转 $FDB6，令 $FD 加 3。

2. 置第三声部音量数据，令 $4008＝8。

3. 置第三声部音调细调值，令 $400A＝7E。

4. 对音长控制器赋值，令 $F3＝7。

5. 对第三声部音调粗调单元赋值，令 $400B＝ $343（等于 0 或 1），从而启动第三声部发声。

6. 在执行主控程序中，执行 $FC33 时，对第五声部包络单元赋值，令 $4011＝ $FD。由于 $FD 的初值为 3、终值为 60H。可使第三声部发出的“哆哆”声由强到弱，最后维持轻微的“哆哆”声。（注—— $4011 可影响第三声部发声。）

除对 $FC 进行以上赋值外，我们还可以使用 $FC 控制发出各种效果音。如：

$FC＝5 可发出“嗡嗡”声中伴有汽船声。

$FC＝6 可发出“呜呜”声中伴有滴滴声。

$FC＝7 可发出低沉的“嗡……”声中伴有“嗒嗒”声。

$FC＝50 可发出无规则的“滴哒”声，音调呈波浪式变化等。这些留给读者分析。

第四节　$FE 单元控制发声过程分析

由表 5—1 可查出，在对话系统中由 $FE 单元控制发出的效果音有六种。下面分别讨论这些效果音的发声规律。

一、$FE 单元＝1 的发声过程分析

$FE＝1 用于发出换板时的效果音。发声控制程序在 $FE93～ $FEDF。发声操作是：由 $FA 取 $FE 单元的发声数据启动、控制发声；由 $F7 控制发声音长；由 $F5 变址从数据区 $FF8B～ $FFF3 中读出发声数据，以决定所发效

果音的种类。控制过程如下：

1. 执行$FE93程序，令$FA＝$FE＝1。

2. 令$F5＝$FF8B＝8，令$F7＝1。

3. 以$F5为变址指针，令A＝$FF8B＋$F5＝B3送入$F9单元，令$F9＝B3。

4. 令$F5＋1，以$F5为变址指针，令A＝$FF8B＋$F5＝30。

5. 调$FC90第三声部赋值子程序，对音调单元赋值：令$400A＝AB、$400B＝9，置发声音调为“1”音。

6. 取$F9单元的数据与70H进行“与”运算后，再右移两位置入$4008单元，以设置音色音量数据，有$4008＝0C。

7. 取$F9单元的数值与0FH进行“与”运算后送入$F7，以控制发声音长，有$F7＝3。

8. 以后每次中断令$F7减一。当$F7＝0时再取下一个数据，直到读数为0时，执行$FEBB，令$FA＝0、$4008＝0、关闭发声。

为便于分析，特把$FE＝1时的发声数据及有关单元的对应关系列于表5－6。

发声旋律为

$$\| 1 \quad 3|5 \quad \dot{1}|\dot{3} \quad \dot{5}|\dot{1} \quad 0 \|$$

由于每个音符的发声时间极短(仅有0.06秒)，七个音符的发声时间仅有0.42秒，所以发出的效果音为一串嘟噜声。

二、$FE单元＝2的发声

当COMPUTER栏每次送显完毕时令$FE＝2，发出

表 5—6　$FE=1 时的效果音数据一览表

$F5	$F9	$FF8B + $F5	$400A	$400B	$4008	音长 $F7	音符
8	B3						
9		30	AB	09	0C	03	1
A		38	52	08	0C	03	3
B		3E	1C	08	0C	03	5
C		48	D4	08	0C	03	1 *
D		50	A8	08	0C	03	3 *
E		56	8D	08	0C	03	5 *
F		60	69	08	0C	03	1 * *
10		00					

注——音符一栏中的一个“*”表示高一个八度音。

“叽哩咕噜”的声响。其发声过程同 $FE=1。下面仅把发声数据列于表 5—7。

表 5—7　$FE=2 时的效果音数据一览表

$F5	$F9	$FF8B + $F5	$400A	$400B	$4008	音长 $F7	音符	音符的时值
11	92				04	02		
12		52	9F	08	04	02	$\dot{4}$	$\dot{\underline{4}}$
13		60	69	08	04	02	$\dot{1}$	$\dot{\underline{1}}$
14		50	A8	08	04	02	$\dot{3}$	$\dot{\underline{3}}$

续表

$F5	$F9	$FF8B+$F5	$400A	$400B	$4008	音长 $F7	音符	音符的时值
15		5E	70	08	04	02	$\dot{7}$	$\dot{\underline{7}}$
16		4E	B2	08	04	02	$\dot{2}\#$	$\dot{\underline{2}}\#$
17		5C	76	08	04	02	$\dot{6}\#$	$\dot{\underline{6}}\#$
18		4C	BD	08	04	02	$\dot{2}$	$\dot{\underline{2}}$
19		5A	7E	08	04	02	$\dot{6}$	$\dot{\underline{6}}$
1A		4A	C8	08	04	02	$\dot{1}\#$	$\dot{\underline{1}}\#$
1B		58	85	08	04	02	$\dot{5}\#$	$\dot{\underline{5}}\#$
1C	A4				08	02		
1D		48	D4	08	08	04	$\dot{1}$	$\dot{1}$
1E		60	69	08	08	04	$\ddot{1}$	$\ddot{1}$
1F		78	34	08	08	04	$\dddot{1}$	$\dddot{1}$

发声旋律为

$$\| \dot{\underline{41}} \quad \dot{\underline{37}} \quad | \quad \dot{\underline{2}}\#\dot{\underline{6}}\# \quad \dot{\underline{26}} \quad | \quad \dot{\underline{1}}\#\dot{\underline{5}}\# \quad \dot{1} \quad | \quad \ddot{1} \quad \ddot{1} \|$$

由于每拍发声时间为 0.08 秒钟，所以 $FE＝2 时的效果音发声时间为 0.64 秒。

三、$FE 单元＝4 的发声

从复位画面进入对话板时的效果音响，由 $FE＝4 控制发出，数据见表 5－8。

表 5－8　$FE＝4 时的效果音数据一览表

$F5	$F9	$FF8B＋$F5	$400A	$400B	$4008	音长 $F7	音符
21	A4				08	04	
22	A4	48	D4	08	08	04	1＊
23	A4	56	8D	08	08	04	5＊
24	A4	4C	BD	08	08	04	2＊
25	A4	5A	7E	08	08	04	6＊
26	A4	50	A8	08	08	04	3＊
27	A4	5E	70	08	08	04	7＊
28	A4	52	9F	08	08	04	4＊
29	A4	60	69	08	08	04	1＊＊
2A		00					

注——音符一栏中的一个“＊”表示高一个八度音。

其旋律为：

$$\| \dot{1} \quad \dot{5}\dot{2} \quad \dot{6}\dot{3} \quad \dot{7}\dot{4} \quad \dot{\dot{1}} \|$$

发声时间为 0.64 秒。

四、$FE 单元＝10 和 $FE 单元＝40 的发声

$FE＝10 可控制发出操作者按回车键时的“嘟噜”声；$FE＝40 可控制发出按功能键或操作者输入字符时的“发啦”声。它们的发声数据如表 5－9 所示。

表 5—9　$FE＝10、$FE＝40 时的效果音数据一览表

$FE	$F5	$F9	$FF8B＋$F5	$400A	$400B	$4008	音长 $F7	音符
10	2B	A2				08	02	
	2C	A2	48	D4	08	08	02	1 *
	2D	A2	50	A8	08	08	02	3 *
	2E	A2	56	8D	08	08	02	5 *
	2F	A2	60	69	08	08	02	1 * *
40	5C	A4				08	04	
	5D	A4	52	9F	08	08	04	4 *
	5E	A4	5A	7E	08	08	04	6 *

注——音符一栏中的一个“*”表示高一个八度音。

它们的发声旋律分别为

$\| \dot{1}\dot{3} \quad \dot{5}\dot{\dot{1}} \|$ 和 $\| 4 \quad \dot{6} \|$

发声时间均为 0.16 秒。

五、$FE＝20 时的发声

$FE＝20 时，第三声部发出一段小号演奏的得胜音乐。其旋律为：

$\| \dot{1} \quad \dot{1}\dot{1} | 1 \quad \dot{3}\dot{3} | 3 \quad \dot{1} | 3 \quad \dot{3}\dot{3} |$

$| \dot{3} \quad \dot{5}\dot{5} | 5 \quad \dot{3} | 5 \quad \dot{5}\dot{5} | 5 \quad \dot{\dot{1}}\dot{\dot{1}} |$

$| \dot{\dot{1}}\dot{\dot{1}} \|$

这一段音乐对话工作系统中没有使用。

第五节　$FF 单元控制发声过程分析

由 $FF 单元控制，可令第一声部发出 COMPUTER 栏送显每个字符时的“哒哒”声；OPERATOR 栏每送显一个字符时的“当当”声；CAL. 板每送显一个运算结果字符时的“啾……”声；还有 CAL. 板送显运算结果完毕后的一长串“咕噜”声。

由 $FF 控制发声的处理程序在 $FD29～$FDB5。其发声工作过程如下。

一、$FF 单元＝2 的发声过程

1. 执行 $FD5B，把 $FF 单元的内容存入 Y 寄存器。

2. 对 $FF 单元进行右移位操作。现在 $FF＝2，即 $FF 的 D1 位为 1，故转 $FD29。

3. 执行 $FD29 令 $F0＝ $FF＝2。

4. 对第一声部音长控制器赋值，令 $F1＝3。

5. 令 A＝5A、X＝80，调第一声部赋值子程序 $FC6D，令

$4000＝80　　$4001＝7F

$4002＝7E　　$4003＝08

令第一声部发“6”音。

6. 令 $F1 减一。

7. 在下一次中断期间，因 $F0＝2 转 $FD4C，令 $F1 减一。

8. 在第三次中断时转 $FD4C，令 $F1－1，有 $F1＝0，则令 $F0＝0、$4000＝90，使发音以变音色、快速减音量而

结束，从而产生类似于敲击金属的声响。

二、$FF＝4 的发声

1. 执行 $FD5B，把 $FF 单元中的内容存入 Y 寄存器。

2. 对 $FF 进行右移位。现在 $FF 的 D2 位为 1，所以转 $FD38。

3. 执行 $FD38，令 $F0＝ $FF＝4。

4. 令 A＝48，转 $FD2D，令 $F1＝3。

5. 令 X＝80，调第一声部赋值子程序 $FC6D，令

$4000＝80　　$4001＝7F

$4002＝D4　　$4003＝08

使第一声部发“i”音。

6. 令 $F1 减一，转后续程序。

7. 在第二次中断执行 $FD5D 时，因 $F0＝4，故转 $FD4C，令 $F1 减一。

8. 在第三次中断时 $F1＝0，则令 $F0＝0、$4000＝90，使发音以变音色、快速减音量而结束。

三、$FF 单元＝8 的发声过程

1. 执行 $FD5B，把 $FF 单元中的内容存入 Y 寄存器。

2. 对 $FF 单元进行右移位，现在 $FF 的 D3 位为 1，所以转 $FD3E。

3. 执行 $FD3E，令 $F0＝8。调音量赋值子程序 $FD11，以 $51 单元的随机数与 7 相“与”的值为变址指针存入 Y 寄存器。从 $FCE6～$FD10 音色、音量数据区取数，令 X＝ $FD01＋Y、A＝ $FD09＋Y，以便对 $4000、$4001 单元赋值。因为 $51 AND 7 的结果有 0～7 八个取值，所以

对应于X、A寄存器也有八组数据，现将其列于表5－10。

表5－10　$FF＝8时的发声数据一览表

$51 AND7	X寄存器	Y寄存器	$4000	$4001	$4002	$4003	音符
0	48	8C	80	8C	D4	08	$\dot{1}$
1	4C	8C	80	8C	BD	08	$\dot{2}$
2	4E	8C	80	8C	B2	08	$\dot{2}\#$
3	50	83或8C	80	83或8C	A8	08	$\dot{3}$
4	54	83或8C	80	83或8C	96	08	$\dot{4}\#$
5	58	83或8C	80	83或8C	85	08	$\dot{5}\#$
6	5C	83	80	83	76	08	$\dot{6}\#$
7	60	83	80	83	69	08	$\dot{1}$

假定$51 AND 7＝1则有X＝4C、A＝8C，

令Y＝A＝8C、A＝X＝4C，返回$FD40。

4. 对音长控制器$F1赋值，令$F1＝5。

5. 令X＝80，调$FC6F子程序，令

$4000＝80　　$4001＝8C

$4002＝BD　　$4003＝08

令第一声部发出“$\dot{2}$”音。

6. 令$F1减一，执行后续程序。

7. 在第二次中断期间，由$F0＝8转$FD4C，令$F1减一。

8. 经过五个中断周期，$F1＝0，令$F0＝0、$4000＝90

结束发声。

由于$51取值的随机性，所以CAL.板送显运算结果字符所发“啾……”声的音调也各不相同。

四、$FF单元=40的发声过程

1. 执行$FD5B，把$FF单元的内容存入Y寄存器。

2. 对$FF单元进行右移位操作，现在$FF的D6位等于1，故转$FD87。

3. 执行$FD87，令$F0=40、$F1=3E。

4. 令A=18调$FC75对第一声部赋值，令$4002=57、$4003=0B(发“1”音)。

5. 令$4001=86，检查$F1的数值，令$4000=90、令$F1减一。

6. 当以$4001=86，发声0.14秒后(7个中断周期)，$F1=38，则令$4001=BD、$4000=90，使“1”音改变音调和包络，令$F1减一。

7. 在随后的中断处理中($F1=37)，令$4000=9A。

8. 在下一次中断期间($F1=36)，又令$4000=90。

9. 令7、8的音量交替变换，直到发声1.06秒以后，则令音量($4000)从9AH开始每发音0.02秒，音量值减一。当音量值从9AH减到90H时，则令$F0=0，结束发声。因此，$FF=40可一次发声1.24秒。

为便于仔细观察$FF=40时的发声过程，特将发声过程中$4000、$4001两单元内容的变化情况列于表5—11。

表 5－11　$FF=40 发声过程中数据变化一览表

$F1	$4000	$4001	$F1	$4000	$4001
3E	90	86	2E	90	BD
3D	9A	86	2D	9A	BD
3C	90	86	2C	90	BD
3B	9A	86	2B	9A	BD
3A	90	86	2A	90	BD
39	9A	86	29	9A	BD
38	90	BD	28	90	BD
37	9A	BD	27	9A	BD
36	90	BD	26	90	BD
35	9A	BD	25	9A	BD
34	90	BD	24	90	BD
33	9A	BD	23	9A	BD
32	90	BD	22	90	BD
31	9A	BD	21	9A	BD
30	90	BD	20	90	BD
2F	9A	BD	1F	9A	BD
1E	90	86	0E	90	BD
1D	9A	86	0D	9A	BD
1C	90	86	0C	90	BD
1B	9A	86	0B	9A	BD
1A	90	86	0A	90	BD
19	9A	86	09	99	BD
18	90	BD	08	98	BD

续表

$F1	$4000	$4001	$F1	$4000	$4001
17	9A	BD	07	97	BD
16	90	BD	06	96	BD
15	9A	BD	05	95	BD
14	90	BD	04	94	BD
13	9A	BD	03	93	BD
12	90	BD	02	92	BD
11	9A	BD	01	91	BD
10	90	BD	00	90	BD
0F	9A	BD			

从表 5－11 可明显看出，$FF＝40 的发声是交替关断、开通的（$4000＝90 时关断，$4000＝9A 时开通），所以它控制发出的声响是断续的。

第六节　系统发声工作过程小结

1. 通过以上分析可见：第一～三声部的发声互相独立，因此可以任取一个或两个声部为背景音乐伴奏，用另一个声部发出效果音。

2. 对话工作系统的三段背景音乐可通过对 $FC 单元置入不同的数值调出，加入到我们自己的程序中。加入方法是：在系统中断程序中加入调用 $FC 控制发声的处理程序 $FE14。

3. 我们还可以借鉴用 $FC 控制发声的处理程序、按 $FC 的数据格式编写我们所希望的背景音乐数据，演奏自

己谱写的背景音乐。这也是音乐编程中最有效、最简单、最方便的方法。为方便移植，特对 $FC 发声数据分析如下：

（1）发声数据中的 D5～D1 位决定音调，它相对于 $8006 数据区的偏移量。其中 D5、D4 为高位、取值范围为 0～3；D3～D1＋0 为低位、取值范围为 2～0EH 中的偶数（2、4、6、8、A、C、E）。各音符与 D5～D1 位的对应关系见表 5－12。

表 5－12　用 $FE14 程序伴奏背景音乐的数据中 D5～D1 位与音符的对应关系

音符	D5	D4	D3	D2	D1	音符	D5	D4	D3	D2	D1
1	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0
1#	0	0	0	0	1	3#4	1	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0	4#	1	0	0	1	0
2#	0	0	0	1	1	5	1	0	0	1	1
3	0	0	1	0	0	5#	1	0	1	0	0
3#4	0	0	1	0	1	6	1	0	1	0	1
4#	0	0	1	1	0	6#	1	0	1	1	0
5	0	0	1	1	1	7	1	0	1	1	1
5#	0	1	0	0	0	7#1	1	1	0	0	0
6	0	1	0	0	1	1#	1	1	0	0	1
6#	0	1	0	1	0	2	1	1	0	1	0
7	0	1	0	1	1	2#	1	1	0	1	1

续表

音符	D5	D4	D3	D2	D1	音符	D5	D4	D3	D2	D1
7#1	0	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0
1#	0	1	1	0	1	3#4	1	1	1	0	1
2	0	1	1	1	0	4#	1	1	1	1	0
2#	0	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1

（2）发声数据中的 D0、D7、D6 三位决定发音长度的地址偏移量，取值范围为 0～5（注——D0、D7、D6 三位依次排列）。使用中根据它们的取值从音长数据区 $FFF4～$FFF9 中取出音长值。0～5 对应的音长时值依次为 0.16 秒、0.2 秒、0.4 秒、0.8 秒、1.6 秒。0.6 秒。它们的对应关系见表 5—13。

表 5—13　$FE14 背景音乐程序中的数据、音长参数对照表

控制音长数据	音长（秒）	数据中的对应位取值		
		D0	D7	D6
08	0.16	0	0	0
0A	0.20	0	0	1
14	0.40	0	1	0
28	0.80	0	1	1
50	1.60	1	0	0
1E	0.60	1	0	1

（3）我们还可以自己设定音长数据区，以演奏更复杂的音乐。

4. 如果把“JSR $FD5B”加入中断程序中，则不仅可以用$FC控制发出各效果音和调出背景音乐，还可以用$FE、$FF控制发出各效果音。所不同的是：$FC控制、一次赋值后可持续发声，而$FE、$FF控制则每赋值一次只发声一次，这是由于每次中断处理结束时对$FE、$FF置0的缘故。

5. $FC06既是对话工作系统的发声处理程序也是电脑游戏机的发声示范程序。因此，它对我们在音响程序的设计中具有很好的借鉴作用。

6. 我们还可以对$FC置入21～23H、25～27H、41～43H、45～47H、61～63H……、E5～E7H等值，以发出不同的背景噪声，适应不同场合的需要。

第七节　系统效果音响的调用

通过以上几节的讨论，我们已经了解到人机对话工作系统中有着丰富的效果音响，其中由零页单元$FC控制发出的效果音有四种、由$FE控制发出的有五种、由$FF控制发出的有四种，共有十三种。若对$FC置入21H、22H.....，还可以发出几十种不同的背景噪声，可用以模仿风声、雨声、引擎声等等。若能在我们编写的程序中直接调用，必能使编程质量提高一个档次。

那么，应当怎样调用这些系统效果音响呢？程序No.5—1可以实现这一调用。

No.5—1 系统音响调用子程序

```
7EF7        A900        LDA        # $00
```

7EF9	85EE	STA	$EE
7EFB	A97F	LDA	#$7F
7EFD	85EF	STA	$EF
7EFF	60	RTS	
7F00	48	PHA	
7F01	8A	TXA	
7F02	48	PHA	
7F03	98	TYA	
7F04	48	PHA	
7F05	205BFD	JSR	$FD5B
7F08	A900	LDA	#$00
7F0A	85FE	STA	$FE
7F0C	85FF	STA	$FF
7F0E	68	PLA	
7F0F	A8	TAY	
7F10	68	PLA	
7F11	AA	TAX	
7F12	68	PLA	
7F13	4C0F88	JMP	$880F

输入程序 No. 5－1，执行“CALL&7EF7”命令后，F BASIC 工作系统已作好了发声准备，现在只要向 $FC、$FE、$FF 单元置入适当的参数，就可发出希望的效果音响。

笔者在《F BASIC 语言与编程技巧》一书中，曾介绍了一个金页古塔搬移的演示程序，那个程序仅模拟了古塔搬移过程，效果较一般。若给它加入效果音响，并增加操纵器选项处理，朋友们再体会一次古塔搬移过程，肯定会有一个全新的感觉。可见，由于有了音响的衬托，则使一般化的程序产生了游戏的韵味。改造后的金页古塔搬移程序见 No. 5－2。

```
5  REM No. 5－2（金页古塔搬移动态演示）
```

```
10  CGSET 0,0 :CLS
20  LOCATE 5,3 :PRINT "TOWER TIER 3 4 5 6 7"
30  X1=16 :LOCATE X1,4 :PRINT CHR$(232)
40  PAUSE 10 :T=STICK(0) :F=153 :X2=X1 :
    IF T>2 THEN 40
50  IF T=1 AND X1<24 THEN GOSUB 440 :X1=X1+2
60  IF T=2 AND X1>16 THEN GOSUB 440 :X1=X1-2
70  LOCATE X2,4 :PRINT " " :LOCATE X1,4 :
    PRINT CHR$(232)
80  IF STRIG(0)=1 THEN D=VAL(SCR$(X1,3)):F=250:
    GOSUB440 :GOTO 100
90  GOTO 40
100 DIM D$(D),D(D-1,2) :D$(0)="        "(八个空格)
110 FOR I=1 TO D :D$(I)=CHR$(196) :FOR J=0 TO I-1:
    D$(I)=D$(I)+CHR$(197):NEXT:
    D$(I)=MID$(D$(I),1,I)+CHR$(198) :NEXT
120 FOR I=0 TO D-1 :D(I,0)=I+1 :NEXT
130 CLS :GOSUB 410 :FOR I=1 TO 3 :LOCATE I*9-6,21:
    PRINT I :NEXT :X1=3 :LOCATE X1, 21 :
    PRINT CHR$(215)
140 LOCATE 7,4 :PRINT "GAME START" :PAUSE 25 :
    LOCATE 7,4 :PRINT D$(0); D$(0) :LOCATE 9,3 :
    PRINT "0 STEP"
150 GOSUB 430 :GOSUB 340 :GOSUB 430 :K1=K-1 :
    PRINT K" TO"; :GOSUB 340 :K2=K-1 :LOCATE 14,7 :
    PRINT K :I0=0
160 IF I0=D THEN F=146 :GOSUB 440 :GOTO 150
170 IF D(I0,K1)=0 THEN I0=I0+1 :GOTO 160
180 M1=D(I0,K1) :I1=0
190 IF I1=D THEN 220
```

```
200 IF D(I1,K2)=0 THEN I1=I1+1 :GOTO 190
210 IF D(I1,K2)<=M1 THEN F=146 :GOSUB 440 :
    GOTO 150
220 D(I0,K1)=0:D(I1-1,K2)=M1
230 GOSUB 410 :ST=ST+1 :LOCATE 8, 3 :
    PRINT ST" STEPS" :GOSUB 430 :I0=0 :I1=0
240 IF I0=2 THEN 290
250 IF I1=D THEN 290
260 IF I1+1=D(I1,I0+1) THEN I1=I1+1 :GOTO 250
270 I0=I0+1 :IF I0=2 THEN 150
280 I1=0 :GOTO 250
290 F=200 :FOR I=1 TO D :READ S2 :F=F+1 :
    GOSUB 440 :NEXT:LOCATE 4, 8:PRINT "GAME END":
    LOCATE 14,8 :PRINT "SCORE" S2 * 100/ST
300 LOCATE 3,1 0:PRINT "RE--PLAY PRESS <START>"
310 IF STRIG(0)=1 THEN F=252 :GOSUB 440 :RUN
320 IF STRIG(0)=2 THEN END
330 GOTO 310
340 PAUSE 10 :T=STICK(0) :F=153 :X2=X1 :
    IF T>2 THEN 340
350 IF T=1 AND X1<21 THEN X1=X1+9 :GOSUB 440
360 IF T=2 AND X1>9 THEN X1=X1-9 :GOSUB 440
370 LOCATE X2,21 :PRINT " " :LOCATE X1,21 :
    PRINT CHR $ (215)
380 G=STRIG(0) :IF G<8 THEN 340
390 K=-(X1=3)-(X1=12) * 2-(X1=21) * 3 :F=250 :
    GOSUB 440
400 RETURN
410 FOR II=0 TO 2 :FOR I=0 TO D-1 :LOCATE II * 9,
    21-D+I :PRINT D $ (D(I,II)) :NEXT :NEXT :RETURN
```

```
420 DATA 1,3,7,15,31,63,127
430 LOCATE 9,7 :PRINT D$(0) :LOCATE 9,7 :RETURN
440 POKE 16405,7 :POKE 16384,31,F,239,8,:RETURN
```

第八节　系统背景音乐的调用

我们知道，计算板、打字板工作时都有不同的背景音乐伴随始终，从而打破了寂寞、活跃了版面、提高了趣味。我们还知道，F BASIC 系统中还有两段暗藏的背景音乐没有使用。下面通过八皇后的动态演示改造程序 No. 5－3，介绍系统背景音乐的调用方法。

当输入 No. 5－3、执行了“CALL&7EF7”之后，F BASIC 系统不但具备了调用系统效果音响的功能，同时也具备了调用系统背景音乐的功能。因此，我们可在程序 No. 5－3 中直接使用“POKE &FC，X”命令调用系统背景音乐。

```
5 REM No. 5－3 动态演示八皇后
POKE 32736,72,138,72,152,72,169,255,141,21,64,32,91,253,
     104,168,104,170,104,76,15,136,169,224,133,238,169,127,
     133,239,96
CALL 32575
```

以上两行程序为立即执行型，不加行号，键入程序后，回车即可。

```
10 DIM C(8),T(8),S(15),P(15) :D=1 :POKE 252,1
20 SPRITE ON :VIEW :GOSUB 500
30 POKE 252,3
40 FOR I=0 TO 7 :DEF MOVE(I)－SPRITE(1,3,1,1,0,2)
   :POSITION I,20,30+I * 24 :MOVE I
50 NEXT
```

```
60 K=1
70 IF T(K)=1 OR S(8+D-K)=1 OR P(D+K-1)=1 THEN 110
80 C(D)=K :T(K)=1 :S(8+D-K)=1 :P(D+K-1)=1 :
   GOSUB 140
90 D=D+1 :IF D>8 THEN TA=TA+1 :LOCATE 24,18 :
   PRINT TA; :POKE 252,1,0,0,64 :A$=INKEY$(0) :
   POKE 252,RND(2)+2 :GOTO 120
100 GOTO 60
110 K=K+1 :IF K<=8 THEN 70
120 D=D-1 :IF D<1 THEN SPRITE OFF :CLS :PRINT "TOTAL
    ="; TA :POKE 254,32 :PAUSE 500 :POKE 252,0,0,0 :END
130 K=C(D) :T(K)=0 :S(8+D-K)=0 :P(D+K-1)=0 :
    GOTO 110
140 X=20+(K-1)*24 :D1=D-1 :Y=30+D1*24
150 X0=XPOS(D1) :Y0=YPOS(D1)
160 IF X>X0 THEN DD=3 :SS=(X-X0)/2 :GOTO 180
170 DD=7 :SS=(X0-X)/2
180 DEF MOVE(D1)=SPRITE(1,DD,1,SS,0,2) :POSITION D1,
    X0,Y0 :MOVE D1
190 RETURN
500 FOR I=1 TO 3 :A$=A$+CHR$(255) :B$=B$+CHR
    $(253) :NEXT
510 FOR I=1 TO 8 :FOR K=1 TO 3
520 FOR J=1 TO 4 :PRINT A$; B$; :NEXT
530 IF I=8 AND K=3 THEN 550
540 PRINT :NEXT :SWAP A$,B$
550 NEXT
560 RETURN
```

程序 No. 5－3 运行后，在轻松愉快的音乐伴奏下，八位

皇后婷婷玉立在8×8格的黑白棋盘方阵中。现在你就是指挥布阵的领兵大元帅，三军鹄立，只待你一声令下。按任一键后，音乐节奏陡转紧张急促，阵地上，八个皇后瞻前顾后，穿梭奔跑，各自寻找自己的恰当位置。当八个皇后的位置全部达到互不侵犯的要求后，则静立不动，等待你检阅阵容，同时音乐节奏又转缓婉流畅。身临其境，你可有凛凛然的感受吗？

第九节　音乐旋律演奏程序的编写

以上通过调用系统发声子程序，收到了较满意的效果。但是，吃嚼过的甘蔗总觉得没滋味，可能许多朋友想尝试自己动手编写背景音乐程序。实际上，通过以上的讨论，朋友们应该能够编出这一程序，但考虑到在其它系统中编写背景音乐的因素，更为入门较晚的朋友也能早日登堂入室，特讨论如下：

我们仅以流行歌曲《小秘密》为例，具体介绍音乐旋律演奏程序的编写过程。

一、选取演奏声部及程序格式

演奏主旋律选择第一、第二声部都可以，本例我们选择第二声部。程序格式以$FC控制演奏的程序为参考加以改造（这样选择的目的：一方面使程序便于理解；另一方面便于加深对系统发声处理方法的认识。）。

二、确定程序区和数据区

$FC控制发声的数据区有三段：分为音量数据、音长数据和音符数据。由于音量、音长数据区较小，故选择$7FE0

～$7FEF为音量数据区、$7FF0～$7FFF为音长数据区；由于《小秘密》的音符数据量不大，故选择$7E00为存放首址；选择$7F00为程序区首址；选择$7EF7～$7EFF为进入中断程序区(该段程序运行后可以删除)。

三、编写演奏控制程序

根据以上的选定，改写程序见No.5—4。

No.5—4 音乐旋律演奏子程序

7F00	A5FC	LDA	$FC
7F02	D006	BNE	$7F0A
7F04	85FB	STA	$FB
7F06	85F3	STA	$F3
7F08	F037	BEQ	$7F41
7F0A	45FB	EOR	$FB
7F0C	F00A	BEQ	$7F18
7F0E	A5FC	LDA	$FC
7F10	85FB	STA	$FB
7F12	A900	LDA	#$00
7F14	85F4	STA	$F4
7F16	F004	BEQ	$7F1C
7F18	C6F6	DEC	$F6
7F1A	D025	BNE	$7F41
7F1C	A4F4	LDY	$F4
7F1E	E6F4	INC	$F4
7F20	B9007E	LDA	$7E00,Y
7F23	F0ED	BEQ	$7F12

```
7F25    AA      TAX
7F26    6A      ROR
7F27    8A      TXA
7F28    2A      ROL
7F29    2A      ROL
7F2A    2A      ROL
7F2B    2907    AND     # $ 07
7F2D    A8      TAY
7F2E    B9F07F  LDA     $ 7FF0,Y
7F31    85F6    STA     $ F6
7F33    8A      TXA
7F34    293E    AND     # $ 3E
7F36    C902    CMP     # $ 02
7F38    F007    BEQ     $ 7F41
7F3A    208A7F  JSR     $ 7F8A
7F3D    A900    LDA     # $ 00
7F3F    85F8    STA     $ F8
7F41    A4F8    LDY     $ F8
7F43    C008    CPY     # $ 08
7F45    B008    BCS     $ 7F4F
7F47    B9E07F  LDA     $ 7FE0,Y
7F4A    8D0440  STA     $ 4004
7F4D    E6F8    INC     $ F8
7F4F    60      RTS
```

四、写出乐谱

《小秘密》的简谱如下：

《小秘密》

4/4

‖:3	32	3	32	3	21	·	10	2	21	2	35	3	·	0	0 0
3	32	3	32	1	1	6·	60	02	23	2	16	6	2	2	- -
3	32	3	32	3	21	·	10	2	21	2	35	3	·	0	0 0
3	32	3	32	1	16	·	60	7	7	6	56	1	-	-	-
05	55	5	35	6	33	·	3	6	7	·	6	5	5	3	2 2
0	3	3	56	3	21	6	-	05	56	53	2	1	-	-	:

五、编写数据区

根据《小秘密》的节奏特点，若选取八个中断周期为八分音符，那么付点八分音符则为十二个中断周期，相应地四分音符为十六个中断周期，其它依次类推。故音长数据区如下：

7FF0 08 0C 10 18 20 28 30 40

拍节：1/2 3/4 1 3/2 2 5/2 3 4

音色音量数据可根据选定的乐器类型选取。我们仍选取打击乐器音色，故编写音色音量数据区如下：

7FE0 B5 B4 B3 B2 B1 B1 B1 B0

程序 No. 5－4 的音符数据要求如下：

由数据的 D0、D7、D6 三位依次排成二进制的三位数作为音符音长值的地址偏移量；由数据的 D5、D4、D3、D2、D1、D0 六位依次排成二进制的六位数(D0 位恒为零)作为音符音

调值的地址偏移量。据此编写音符数据区如下：

```
7E00 A0 20 1C A0 20 1C A0 1C 19 02 9C 1C 18 9C 20 26
7E10 E0 43 A0 20 1C A0 20 1C 98 18 D2 02 02 1C 1C 20
7E20 1C 98 92 9D A0 20 1C A0 20 1C A0 1C 19 02 9C 1C
7E30 18 9C 20 26 E0 43 A0 20 1C A0 20 1C 98 18 D2 02
7E40 96 96 12 8E 12 D9 02 26 26 26 A6 20 26 AA 20 61
7E50 2B EE 2A 26 A6 A0 DC 02 A0 20 A6 AA A0 1C 18 13
7E60 02 26 26 2A A6 A0 9C D9 00 00 00 00 0F 0F 0F 0F
```

六、编写音调单元赋值子程序

系统中原有的赋值子程序 $FC69～$FC97 已不适用乐曲《小秘密》的赋值需要，因此需要重新编写赋值子程序。为适用各声部赋值，仍采用原格式编写，程序见 No. 5－5。

No. 5－5 音调单元赋值子程序

```
7F70    A07F    LDY    #$7F
7F72    8E0040  STX    $4000
7F75    8C0140  STY    $4001
7F78    A200    LDX    #$00
7F7A    A8      TAY
7F7B    B91E80  LDA    $801E,Y
7F7E    9D0240  STA    $4002,X
7F81    B91F80  LDA    $801F,Y
7F84    0908    ORA    #$08
7F86    9D0340  STA    $4003,X
7F89    60      RTS
7F8A    A07F    LDY    #$7F
```

7F8C	8C0540	STY	$4005
7F8F	A204	LDX	#$04
7F91	D0E7	BNE	$7F7A
7F93	A208	LDX	#$08
7F95	C902	CMP	#$02
7F97	F0F0	BEQ	$7F89
7F99	D0DF	BNE	$7F7A

七、编写调用程序

对于演奏子程序的调用程序，我们并不陌生，故直接写出程序。见 No. 5－6。

No. 5－6 演奏子程序的调用程序

7F50	48	PHA	
7F51	8A	TXA	
7F52	48	PHA	
7F53	98	TYA	
7F54	48	PHA	
7F55	A90F	LDA	#$0F
7F57	8D1540	STA	$4015
7F5A	20007F	JSR	$7F00
7F5D	EA	NOP	
7F5E	EA	NOP	
7F5F	EA	NOP	
7F60	EA	NOP	
7F61	EA	NOP	
7F62	EA	NOP	

```
7F63        68          PLA
7F64        A8          TAY
7F65        68          PLA
7F66        AA          TAX
7F67        68          PLA
7F68        4C0F88      JMP         $880F
```

程序 No. 5－6 中留出了 $7F5D～$7F62 六个单元，以供调用两个其它声部的演奏子程序。

现在，万事具备，只要设置好中断程序入口，就可进行背景音乐的演奏了。显而易见，中断程序入口地址为 $7F50。故编写中断入口地址设置子程序如下：

```
7EF7        A950        LDA         #$50
7EF9        85EE        STA         $EE
7EFB        A97F        LDA         #$7F
7EFD        85EF        STA         $EF
7EFF        60          RTS
```

八、运行程序

把以上各程序写入各自的地址后，执行“CALL &7EF7”、再执行“POKE &FC,1”，就可以欣赏自己设计的背景音乐了。在自己设计的音乐伴奏下，操作电脑将是多么惬意啊！

九、演奏程序的完善

一个声部演奏总显单调，若再加入和声伴奏及打击乐节奏，效果将会更好。和声伴奏可以使用第一声部，打击乐节奏

可以使用第三声部。下面仅介绍打击乐节奏的编程方法，和声伴奏留给读者练习。

为了使节奏感更强烈，且节奏的强弱随主旋律的周期而改变，特把用于第三声部的《小秘密》歌曲的乐谱改写如下：

用于第三声部的《小秘密》乐谱

4/4　　（注——每个音符都是 1/2 拍）

‖3 3 3 2 3 3 3 2|3 3 2 1 1 1 1 1|2 2 2 1 2 2 3 5|3 3 3 3 3 3 3 3|

|3 3 3 2 3 3 3 2|1 1 1 6 6 6 6 6|2 2 2 3 2 1 1 6|6 2 2 2 2 2 2 2|

|3 3 3 2 3 3 3 2|3 3 2 1 1 1 1 1|2 2 2 1 2 2 3 5|3 3 3 3 3 3 3 3|

|3 3 3 2 3 3 3 2|1 1 1 6 6 6 6 6|7 7 7 7 6 5 5 6|1 1 1 1 1 1 1 1|

|5 5 5 5 5 5 3 5|6 6 3 3 3 3 3 3|6 6 6 6 7 7 7 6|5 5 5 3 3 2 2 2|

|3 3 3 3 5 5 6 6|3 3 2 1 6 6 6 6|5 5 5 6 5 5 3 3 2 2|1 1 1 1 1 1 1 0|

节奏演奏程序见 No. 5—7。

No. 5—7 第三声部演奏子程序

```
7F9B   A5FA   LDA   $FA
7F9D   D00F   BNE   $7FAE
7F9F   A5FC   LDA   $FC
7FA1   85FA   STA   $FA
7FA3   D001   BNE   $7FA6
7FA5   60     RTS
7FA6   A900   LDA   #$00
7FA8   85F5   STA   $F5
7FAA   A901   LDA   #$01
7FAC   85F7   STA   $F7
```

```
7FAE    C6F7      DEC     $F7
7FB0    F001      BEQ     $7FB3
7FB2    60        RTS
7FB3    A4F5      LDY     $F5
7FB5    E6F5      INC     $F5
7FB7    B9007D    LDA     $7D00,Y
7FBA    D006      BNE     $7FC2
7FBC    85FA      STA     $FA
7FBE    8D0840    STA     $4008
7FC1    60        RTS
7FC2    20937F    JSR     $7F93
7FC5    A901      LDA     #$01
7FC7    8D0840    STA     $4008
7FCA    A908      LDA     #$08
7FCC    85F7      STA     $F7
7FCE    60        RTS
```

根据 No. 5—7 对发声数据的要求，编写节奏演奏数据如下：

```
7D00  20 20 20 1C 20 20 20 1C 20 20 1C 18 18 18 18 18
7D10  1C 1C 1C 18 1C 1C 20 26 20 20 20 20 20 20 20 20
7D20  20 20 20 1C 20 20 20 1C 18 18 18 12 12 12 12 12
7D30  1C 1C 1C 20 1C 18 18 12 12 1C 1C 1C 1C 1C 1C 1C
7D40  20 20 20 1C 20 20 20 1C 20 20 1C 18 18 18 18 18
7D50  1C 1C 1C 18 1C 1C 20 26 20 20 20 20 20 20 20 20
7D60  20 20 20 1C 20 20 20 1C 18 18 18 12 12 12 12 12
7D70  16 16 16 16 12 0E 0E 12 18 18 18 18 18 18 18 18
7D80  26 26 26 26 26 26 20 26 2A 2A 20 20 20 20 20 20
```

```
7D90  2A 2A 2A 2A 2E 2E 2E 2A 26 26 26 20 20 1C 1C 1C
7DA0  20 20 20 20 26 26 2A 2A 20 20 1C 18 12 12 12 12
7DB0  26 26 26 2A 26 26 20 20 1C 1C 18 18 18 18 18 18
7DC0  18 00
```

把程序 No. 5－7 和数据写入内存后，要在主控程序 No. 5－6 中加一条调用子程序语句“JSR $7F9B”，其地址为：

7F5D　20　9B　7F

现在运行程序将会聆听到富有节奏感的背景音乐了。

读者可以调整两个声部的音色数据，以演奏自己喜爱的乐器效果。这些改造较简单，不多赘述。

第六章　任天堂游戏音乐详析

《F－1RACE》(《大赛车》)，是深受广大竞技游戏爱好者喜爱的任天堂经典游戏。游戏中有着以进行速度演奏的音乐旋律和丰富的效果音响，其中有游戏复位后的等待选项音乐；有按 START 键开始后比赛线路提示画面中的游戏开始音乐；有比赛失败时的“GAME OVER”结束音乐；还有发令声、爆炸声等。实际上，其音响方面的最得意之作，还要数逼真的模拟出赛车的启动、加速、减速、怠速、刹车、超车、撞车、转弯等运行状态的各种音响。

本章将通过《F－1RACE》音响演奏程序的分析讨论，把真正任天堂游戏音响控制的编程处理方法，毫无保留地展现在读者面前。

相信通过本章的讨论，将使读者对效果音响的发出控制处理技巧，产生更深一层的认识。

第一节　《大赛车》的音响及演奏程序

一、《大赛车》游戏的音响

归纳起来，《大赛车》游戏中共有三段音乐旋律和十种效果音响，现汇总列于表 6－1。

表 6－1 《大赛车》音乐旋律、效果音响汇总表

音响种类	使 用 场 合
旋律一	标题画面中，等待游戏者选项时的音乐。
旋律二	按 START 键，显示比赛路线画面时的音乐。
旋律三	时间为 0 而没有到达终点，GAME OVER 时的音乐。
效果音响一	发动机高速启动时，轮胎与地面摩擦生烟时的“吱吱”声。
效果音响二	赛车高速行驶中，急转弯时的刹车声。
效果音响三	赛车撞车时的爆炸声。
效果音响四	比赛时的发令声，三低一高。
效果音响五	赛车运行到路边时的刹车减速声。
效果音响六	游戏中按 START 键暂停游戏或恢复游戏时的音响。
效果音响七	超车声。当赛车与其它车相错时发出的由近渐远的声响。
效果音响八	赛车加速时，发动机的声音由低渐高的声响。
效果音响九	赛车减速时，发动机的声音由高渐低的声响。
效果音响十	赛车停止运行时，发动机的怠速声响。

二、《大赛车》的演奏程序

《大赛车》的发声处理程序由四段子程序组成：

第一段为发声准备处理子程序（$F46E～$F48D），它还对 $53 单元进行跟踪，以改变发动机“突突”声的音调，程序清单见 No. 6－1。

第二段为发声赋值子程序（$F48E～$F4DE），三段音乐旋律和大部分效果音响都是由该段子程序控制向有关单元赋值而发出的，同时该子程序还控制着关闭各有关发声声部的任务，程序清单见 No. 6－2。

第三段为发声子程序（一）（$F505～$F67E），音乐旋律

的演奏、发令声、刹车声、爆炸声、暂停声都由该子程序控制发出，程序清单见 No. 6－3。

第四段为发声子程序(二)(＄FAE8～＄FC14)，赛车发动机的模拟音，如加速声、减速声、超车声都由该段程序控制发出，另外该段程序还控制第二声部辅助发出刹车声，程序清单见 No. 6－4。

另外，该子程序还包含三个辅助子程序，它们的功能分别为：赛车与干扰赛车间距离的计算子程序；赛车行驶到路边时发刹车声子程序；调整发动机音调控制辅助子程序。程序清单分别见 No. 6－5～No. 6－7。

1. 发声准备处理子程序

No. 6－1　发声准备处理子程序

```
F46E  A200     LDX    #$00
F470  8E1140   STX    $4011
F473  86BC     STX    $BC    ;发声音长计数器置 0。
F475  CA       DEX
F476  86B8     STX    $B8
F478  86BD     STX    $BD
F47A  86C2     STX    $C2
F47C  A20F     LDX    #$0F
F47E  8E1540   STX    $4015  ;打开各声部的发声开关。
F481  A9FF     LDA    #$FF
F483  9DC001   STA    $01C0,X
F486  CA       DEX
F487  10FA     BPL    $F483
F489  A553     LDA    $53
F48B  85BE     STA    $BE    ;跟踪发动机的工作状态，
```

以发出跟踪音响。

```
F48D  60      RTS
```

2. 发声赋值子程序

No. 6－2 发声赋值子程序

```
F48E  AA      TAX
F48F  3030    BMI   $F4C1   ;A>7FH 则关发声。
F491  A5BD    LDA   $BD
F493  DDDFF4  CMP   $F4DF,X
F496  B001    BCS   $F499
F498  60      RTS
F499  BDDFF4  LDA   $F4DF,X
F49C  85BD    STA   $BD
F49E  C91E    CMP   #$1E
F4A0  9005    BCC   $F4A7
F4A2  E4B8    CPX   $B8
F4A4  D001    BNE   $F4A7   ;上一次置数的发声
                            未结束时则返回。
F4A6  60      RTS
F4A7  86B8    STX   $B8
F4A9  BDF3F4  LDA   $F4F3,X
F4AC  85B9    STA   $B9
F4AE  BDFCF4  LDA   $F4FC,X
F4B1  85BA    STA   $BA
F4B3  BDE9F4  LDA   $F4E9,X
F4B6  85C2    STA   $C2
F4B8  A910    LDA   #$10
F4BA  85BB    STA   $BB
```

```
F4BC   A901     LDA     #$01
F4BE   85BC     STA     $BC    ;有关发声工作单元。
F4C0   60       RTS
F4C1   86B8     STX     $B8    ;A>7FH 时关闭发声。
F4C3   E8       INX
F4C4   86BC     STX     $BC
F4C6   86BD     STX     $BD
F4C8   A930     LDA     #$30
F4CA   8D0040   STA     $4000
F4CD   8D0440   STA     $4004
F4D0   8D0C40   STA     $400C
F4D3   A900     LDA     #$00
F4D5   8D0840   STA     $4008
F4D8   8D0A40   STA     $400A
F4DB   8D0B40   STA     $400B
F4DE   60       RTS
```

3. 发声控制子程序(一)

No. 6—3 发声控制子程序(一)

```
F505   A9C0     LDA     #$C0
F507   8D1740   STA     $4017
F50A   A5B8     LDA     $B8
F50C   F01F     BEQ     $F52D
F50E   A6BC     LDX     $BC
F510   D01E     BNE     $F530
F512   C908     CMP     #$08
F514   D00A     BNE     $F520
F516   A532     LDA     $32
```

```
F518  D006     BNE   $F520
F51A  A900     LDA   #$00
F51C  85B8     STA   $B8
F51E  85C2     STA   $C2
F520  A2FF     LDX   #$FF
F522  86BD     STX   $BD
F524  86B8     STX   $B8
F526  A5C2     LDA   $C2
F528  3003     BMI   $F52D
F52A  E8       INX
F52B  86C2     STX   $C2
F52D  4CE8FA   JMP   $FAE8
F530  C6BC     DEC   $BC
F532  F009     BEQ   $F53D
F534  4CE8FA   JMP   $FAE8
F537  E6B9     INC   $B9
F539  D002     BNE   $F53D
F53B  E6BA     INC   $BA
F53D  A000     LDY   #$00
F53F  B1B9     LDA   ($B9,Y);根据读出的数据决定
                             发声处理程序。
F541  29C0     AND   #$C0
F543  F028     BEQ   $F56D
F545  38       SEC           ;发声数据>3FH 的
                             处理程序。
F546  E940     SBC   #$40
F548  4A       LSR
```

```
F549  4A       LSR
F54A  4A       LSR
F54B  4A       LSR
F54C  AA       TAX
F54D  B1B9     LDA    ($B9,Y)
F54F  293F     AND    #$3F
F551  0A       ASL
F552  A8       TAY
F553  B94FFD   LDA    $FD4F,Y
F556  9D0240   STA    $4002,X
F559  9DC201   STA    $01C2,X
F55C  B94EFD   LDA    $FD4E,Y
F55F  DDC301   CMP    $01C3,X
F562  F0D3     BEQ    $F537
F564  9D0340   STA    $4003,X
F567  9DC301   STA    $01C3,X
F56A  4C37F5   JMP    $F537
F56D  B1B9     LDA    ($B9,Y);发声数据<20H 时的
                      处理程序。
F56F  2920     AND    #$20
F571  D011     BNE    $F584
F573  B1B9     LDA    ($B9,Y)
F575  85BC     STA    $BC
F577  207DF5   JSR    $F57D
F57A  4CE8FA   JMP    $FAE8
F57D  E6B9     INC    $B9
F57F  D002     BNE    $F583
```

```
F581  E6BA     INC   $BA
F583  60       RTS
F584  B1B9     LDA   ($B9,Y);发声数据在 20～2FH
                             之间时的处理程序。
F586  2910     AND   #$10
F588  D013     BNE   $F59D
F58A  B1B9     LDA   ($B9,Y)
F58C  290F     AND   #$0F
F58E  AA       TAX
F58F  207DF5   JSR   $F57D
F592  B1B9     LDA   ($B9,Y)
F594  9D0040   STA   $4000,X
F597  9DC001   STA   $01C0,X
F59A  4C37F5   JMP   $F537
F59D  B1B9     LDA   ($B9,Y)  ;发声数据等于 3FH
                              时的处理程序。
F59F  C93F     CMP   #$3F
F5A1  D01B     BNE   $F5BE
F5A3  A208     LDX   #$08
F5A5  A900     LDA   #$00
F5A7  9D0240   STA   $4002,X
F5AA  9DC201   STA   $01C2,X
F5AD  9D0340   STA   $4003,X
F5B0  A9FF     LDA   #$FF
F5B2  9DC301   STA   $01C3,X
F5B5  CA       DEX
F5B6  CA       DEX
```

```
F5B7  CA       DEX
F5B8  CA       DEX
F5B9  10EA     BPL    $F5A5
F5BB  4C37F5   JMP    $F537
F5BE  C933     CMP    #$33    ;发声数据等于 33H
                               时的处理程序。
F5C0  D00E     BNE    $F5D0
F5C2  C8       INY
F5C3  B1B9     LDA    ($B9,Y)
F5C5  AA       TAX
F5C6  C8       INY
F5C7  B1B9     LDA    ($B9,Y)
F5C9  86B9     STX    $B9
F5CB  85BA     STA    $BA
F5CD  4C3DF5   JMP    $F53D
F5D0  C934     CMP    #$34    ;发声数据等于 34H 时
                               的处理程序。
F5D2  D027     BNE    $F5FB
F5D4  207DF5   JSR    $F57D
F5D7  B1B9     LDA    ($B9,Y)
F5D9  AA       TAX
F5DA  207DF5   JSR    $F57D
F5DD  B1B9     LDA    ($B9,Y)
F5DF  48       PHA
F5E0  207DF5   JSR    $F57D
F5E3  A4BB     LDY    $BB
F5E5  A5BA     LDA    $BA
```

```
F5E7  99CF01  STA   $01CF,Y
F5EA  A5B9    LDA   $B9
F5EC  99CE01  STA   $01CE,Y
F5EF  C6BB    DEC   $BB
F5F1  C6BB    DEC   $BB
F5F3  68      PLA
F5F4  86B9    STX   $B9
F5F6  85BA    STA   $BA
F5F8  4C3DF5  JMP   $F53D
F5FB  C935    CMP   #$35    ;发声数据等于 35H 时
                            的处理程序
F5FD  D013    BNE   $F61
F5FF  E6BB    INC   $BB
F601  E6BB    INC   $BB
F603  A4BB    LDY   $BB
F605  B9CF01  LDA   $01CF,Y
F608  85BA    STA   $BA
F60A  B9CE01  LDA   $01CE,Y
F60D  85B9    STA   $B9
F60F  4C3DF5  JMP   $F53D
F612  C936    CMP   #$36    ;发声数据等于 36H 时
                            的处理程序
F614  D020    BNE   $F636
F616  207DF5  JSR   $F57D
F619  B1B9    LDA   ($B9,Y)
F61B  A6BB    LDX   $BB
F61D  9DCD01  STA   $01CD,X
```

```
F620  207DF5   JSR    $F57D
F623  A5B9     LDA    $B9
F625  9DCE01   STA    $01CE,X
F628  A5BA     LDA    $BA
F62A  9DCF01   STA    $01CF,X
F62D  C6BB     DEC    $BB
F62F  C6BB     DEC    $BB
F631  C6BB     DEC    $BB
F633  4C3DF5   JMP    $F53D
F636  C937     CMP    #$37    ;发声数据等于 37H 时
                               的处理程序
F638  D01D     BNE    $F657
F63A  A6BB     LDX    $BB
F63C  DED001   DEC    $01D0,X
F63F  F00D     BEQ    $F64E
F641  BDD101   LDA    $01D1,X
F644  85B9     STA    $B9
F646  BDD201   LDA    $01D2,X
F649  85BA     STA    $BA
F64B  4C3DF5   JMP    $F53D
F64E  E6BB     INC    $BB
F650  E6BB     INC    $BB
F652  E6BB     INC    $BB
F654  4C37F5   JMP    $F537
F657  2906     AND    #$06    ;其它发声数据的处理
                               程序
F659  0A       ASL
```

```
F65A   AA       TAX
F65B   207DF5   JSR     $F57D
F65E   B1B9     LDA     ($B9,Y)
F660   1001     BPL     $F663
F662   88       DEY
F663   18       CLC
F664   7DC201   ADC     $01C2,X
F667   9D0240   STA     $4002,X
F66A   9DC201   STA     $01C2,X
F66D   98       TYA
F66E   7DC301   ADC     $01C3,X
F671   DDC301   CMP     $01C3,X
F674   F006     BEQ     $F67C
F676   9D0340   STA     $4003,X
F679   9DC301   STA     $01C3,X
F67C   4C37F5   JMP     $F537
```

4. 发声控制子程序(二)

No. 6—4　发声处理子程序(二)

```
FAE8   A5C2     LDA     $C2
FAEA   1001     BPL     $FAED   ;由$C2单元控制避
                                免发声声部的工作冲
                                突。
FAEC   60       RTS
FAED   A553     LDA     $53
FAEF   C5BE     CMP     $BE
FAF1   D009     BNE     $FAFC   ;若发动机转速未改变则
                                不执行以后的程序。
```

```
FAF3  A651    LDX   $51
FAF5  E4BF    CPX   $BF
FAF7  D003    BNE   $FAFC
FAF9  4C71FB  JMP   $FB71
FAFC  85BE    STA   $BE
FAFE  86BF    STX   $BF
FB00  A653    LDX   $53
FB02  E0B4    CPX   #$B4
FB04  9002    BCC   $FB08
FB06  A2B4    LDX   #$B4
FB08  A55A    LDA   $5A
FB0A  F005    BEQ   $FB11
FB0C  8A      TXA
FB0D  38      SEC
FB0E  E90A    SBC   #$0A
FB10  AA      TAX
FB11  BD2EFC  LDA   $FC2E,X   ;控制第一声部发出
                              赛车发动机的“突
                              突”声。
FB14  38      SEC
FB15  FD2FFC  SBC   $FC2F,X
FB18  2015FC  JSR   $FC15     ;调整$C0单元以改变
                              发动机的音调。
FB1B  A9B4    LDA   #$B4
FB1D  8D0040  STA   $4000
FB20  A97F    LDA   #$7F
FB22  8D0140  STA   $4001
```

```
FB25  BD2EFC  LDA   $FC2E,X
FB28  38      SEC
FB29  E5C0    SBC   $C0
FB2B  8D0240  STA   $4002
FB2E  BD0001  LDA   $0100,X
FB31  E900    SBC   #$00
FB33  CDC301  CMP   $01C3
FB36  F006    BEQ   $FB3E
FB38  8D0340  STA   $4003
FB3B  8DC301  STA   $01C3
FB3E  BD42FC  LDA   $FC42,X   ;控制第三声部发出
                              赛车发动机的“突
                              突”声。
FB41  38      SEC
FB42  FD43FC  SBC   $FC43,X
FB45  2015FC  JSR   $FC15     ;调整$C0单元以改变
                              发动机音调。
FB48  A9FF    LDA   #$FF
FB4A  8D0840  STA   $4008
FB4D  A900    LDA   #$00
FB4F  8D1140  STA   $4011
FB52  BD42FC  LDA   $FC42,X
FB55  38      SEC
FB56  E5C0    SBC   $C0
FB58  A8      TAY
FB59  BD1401  LDA   $0114,X
FB5C  E900    SBC   #$00
```

```
FB5E  4A       LSR
FB5F  08       PHP
FB60  CDCB01   CMP    $01CB
FB63  F006     BEQ    $FB6B
FB65  8D0B40   STA    $400B
FB68  8DCB01   STA    $01CB
FB6B  28       PLP
FB6C  98       TYA
FB6D  6A       ROR
FB6E  8D0A40   STA    $400A
FB71  A5C3     LDA    $C3
FB73  D07A     BNE    $FBEF
FB75  A5C2     LDA    $C2
FB77  F001     BEQ    $FB7A
FB79  60       RTS
FB7A  A58F     LDA    $8F
FB7C  20E4FB   JSR    $FBE4   ;计算赛车与干扰赛车
                               间的距离。
FB7F  85C0     STA    $C0
FB81  A900     LDA    #$00
FB83  85C1     STA    $C1
FB85  A002     LDY    #$02
FB87  B98F00   LDA    $008F,Y
FB8A  20E4FB   JSR    $FBE4   ;计算赛车与干扰赛车
                               间的距离。判断是否
                               超车。
FB8D  C5C0     CMP    $C0
```

```
FB8F  B004    BCS   $FB95
FB91  85C0    STA   $C0
FB93  84C1    STY   $C1
FB95  88      DEY
FB96  D0EF    BNE   $FB87
FB98  A4C1    LDY   $C1
FB9A  B98F00  LDA   $008F,Y
FB9D  C9F0    CMP   #$F0
FB9F  B004    BCS   $FBA5
FBA1  C9A8    CMP   #$A8
FBA3  B006    BCS   $FBAB
FBA5  A9B0    LDA   #$B0
FBA7  8D0440  STA   $4004   ;没有超车则关第二声
                            部的发声,返回。
FBAA  60      RTS
FBAB  38      SEC           ;若有超车则控制第二声
                            部发超车声。
FBAC  E9A8    SBC   #$A8
FBAE  AA      TAX
FBAF  BD06FD  LDA   $FD06,X
FBB2  8D0440  STA   $4004
FBB5  A97F    LDA   #$7F
FBB7  8D0540  STA   $4005
FBBA  A550    LDA   $50
FBBC  4A      LSR
FBBD  A551    LDA   $51
FBBF  6A      ROR
```

```
FBC0  C964     CMP    #$64
FBC2  B008     BCS    $FBCC
FBC4  86C0     STX    $C0
FBC6  A948     LDA    #$48
FBC8  38       SEC
FBC9  E5C0     SBC    $C0
FBCB  AA       TAX
FBCC  8A       TXA
FBCD  18       CLC
FBCE  69AC     ADC    #$AC
FBD0  8D0640   STA    $4006
FBD3  ADC701   LDA    $01C7
FBD6  C901     CMP    #$01
FBD8  D001     BNE    $FBDB
FBDA  60       RTS
FBDB  A901     LDA    #$01
FBDD  8D0740   STA    $4007
FBE0  8DC701   STA    $01C7
FBE3  60       RTS
```

5. 发声辅助程序

三个发声辅助子程序如下：

No. 6－5　赛车与干扰赛车间距离的计算子程序

```
FBE4  38       SEC
FBE5  E9CC     SBC    #$CC
FBE7  B005     BCS    $FBEE
FBE9  49FF     EOR    #$FF
FBEB  18       CLC
```

```
FBEC  6901    ADC   # $01
FBEE  60      RTS
```

No. 6—6　赛车行驶到路边时发刹车声子程序

```
FBEF  A55F    LDA   $5F
FBF1  D001    BNE   $FBF4
FBF3  60      RTS
FBF4  ADC301  LDA   $01C3
FBF7  8D0340  STA   $4003
FBFA  ADCB01  LDA   $01CB
FBFD  8D0B40  STA   $400B
FC00  A900    LDA   # $00
FC02  8D0C40  STA   $400C
FC05  A90E    LDA   # $0E
FC07  8D0E40  STA   $400E
FC0A  A988    LDA   # $88
FC0C  8D0F40  STA   $400F
FC0F  A907    LDA   # $07
FC11  208EF4  JSR   $F48E
FC14  60      RTS
```

No. 6—7　调整发动机音调控制辅助子程序

```
FC15  85C0    STA   $C0
FC17  A551    LDA   $51
FC19  2903    AND   # $03
FC1B  A8      TAY
FC1C  46C0    LSR   $C0
FC1E  46C0    LSR   $C0
FC20  A5C0    LDA   $C0
```

```
FC22   88       DEY
FC23   3006     BMI     $FC2B
FC25   18       CLC
FC26   65C0     ADC     $C0
FC28   4C22FC   JMP     $FC22
FC2B   85C0     STA     $C0
FC2D   60       RTS
```

6. 发声数据

配合以上发声处理程序的数据如下：

（1）发声种类赋值数据区

```
F4DF                                                    32
F4E0  28 28 28 28 28 28 2D 28 28 00 FF FF FF 02 FF 01
F4F0  01 FF FF 00 7F DB 1E 5A 6C A4 C0 D1 00 F6 F6 F8
F500  FA FA FA FA FA
```

（2）旋律一数据

```
F81E                                                 35 20 3E
F820  21 7F 24 7D 25 7F 28 FF 3F 34 57 F8 34 8A F8 34
F830  C1 F8 34 57 F8 34 8A F8 34 EA F8 34 17 F9 34 64
F840  F9 34 17 F9 34 B1 F9 34 57 F8 34 8A F8 34 C1 F8
F850  34 57 F8 34 0A FA 00 63 A0 D0 0F 3F 02 60 97 DC
F860  0A 7C BC 03 61 97 02 3F 02 60 98 DB 0A BC 03 94
F870  02 3F 02 5E 96 D4 0A BC 03 98 02 3F 02 5C 99 D9
F880  0F 3F 02 5B 9B DB 0F 3F 02 35 59 9C DC 0A 7C BC
F890  03 5B 9E 02 3F 02 5C A0 D9 0F 3F 02 5E 9E DE 0F
F8A0  3F 02 60 9D D9 0A BC 03 99 02 3F 02 61 95 DE 0A
F8B0  BC 03 99 02 3F 02 59 9E D2 0A BC 03 A1 02 3F 02
F8C0  35 60 A0 D7 0F BC FC 02 9E D6 0A BC 03 9C 02 3F
F8D0  02 5E 9B D7 0A BC FC 03 9C D2 02 BC FC 02 9E D7
```

F8E0 0A BC FC 03 97 DB 02 BC 02 35 60 A0 D7 0A BC 03
F8F0 97 02 3F 02 5E 99 D7 0A BC 03 9B 02 3F 02 5C 9C
F900 D0 0A 7C BC 03 5C 9C 02 3F 02 5B 9B DC 0A 7C BC
F910 03 5C 9C 02 3F 02 35 5E 9A DA 0A BC 03 99 02 7C
F920 BC 02 5E 9A DA 0A BC 03 9E 02 3F 02 60 9D D9 0F
F930 3F 02 59 94 D9 0A 7C BC 03 63 9D 02 3F 02 61 9E
F940 DE 0A BC 03 99 02 3F 02 60 9D D9 0A BC 03 97 02
F950 3F 02 5E 95 DE 0A BC 03 97 02 BC FC 02 5E 99 D2
F960 0F 3F 02 35 60 9B D4 0F 3F 02 58 94 D6 0A 7C BC
F970 03 59 96 FC 02 7C BC 02 5B 98 D8 0A BC 03 99 02
F980 3F 02 5E 9B D4 0A BC 03 98 02 3F 02 5C 99 D9 0A
F990 7C BC 03 5B 9B 02 3F 02 5C 9C D4 0A 7C BC 03 5E
F9A0 9E 02 3F 02 60 A0 D9 0F 3F 02 59 94 D0 0F 3F 02
F9B0 35 5E 96 DE 0A 7C BC 03 9D 94 02 3F 02 5E 96 D9
F9C0 0A 7C BC 03 60 97 02 3F 02 62 99 DE 0A BC 03 9B
F9D0 02 3F 02 5E 9C D2 0F 3F 02 63 9B D7 0A 7C BC 03
F9E0 5B 97 02 3F 02 5C 99 DE 0A 7C BC 03 5B 9A 02 3F
F9F0 02 5E 9B E3 0A 3F 03 57 97 D7 02 3F 02 59 99 D9
FA00 0A 3F 03 5B 9B DB 02 3F 02 35 59 9C DC 0A 7C BC
FA10 03 5B 9E 02 3F 02 5D A0 D9 0A BC 03 A3 02 3F 02
FA20 5E A1 D2 0A BC 03 A0 02 3F 02 61 9E DE 0A BC 03
FA30 9C 02 3F 02 5B 9E D7 0A 7C BC 03 57 9B 02 3F 02
FA40 59 9C D7 0A 7C BC 03 5B 9E 02 3F 02 5C A0 DC 0F
FA50 FC 02 D7 0F FC 02 D0 11 3F 35

（3）旋律二数据

F67F 20
F680 3F 21 7F 24 3F 25 7F 28 FF 3F 5E 99 DB 06 7C BC
F690 02 5E 99 06 3F 02 5E 99 DB 06 7C BC 02 60 9D D9
F6A0 16 7C BC 02 5D 9B 0E 7C BC 02 62 98 06 7C BC 02
F6B0 60 9D D8 16 3F 02 5D 9B D8 0E 3F 02 5E 9B D8 06

F6C0 3F 02 60 9D DE 06 3F 02 62 A0 DE 06 3F 02 63 A2
F6D0 DE 06 3F 02 64 9C DD 1E 1C 3F 00

（4）旋律三数据

F6DB 20 3D 21 7F 24
F6E0 3D 25 7F 28 FF 34 EC F6 34 E5 F7 00 5C 99 D5 10
F6F0 3F 02 59 95 D0 0A 7C BC 02 5C 99 04 7C BC 02 61
F700 99 D5 0C 61 9C 04 3F 02 60 97 D4 0C 9A 04 3F 02
F710 5E 95 D2 0A 7C BC 02 59 95 04 3F 02 59 95 CD 10
F720 FC 02 D2 06 7C BC 06 52 8D 04 3F 02 55 92 D5 04
F730 7C BC 02 59 95 D5 04 7C BC 02 5C 99 04 3F 02 5E
F740 9A D7 10 3F 02 5A 97 D2 0A 7C BC 02 5E 9A D2 04
F750 3F 02 63 9A D7 0C 9E 04 3F 02 61 9B D7 0C 9E 04
F760 3F 02 60 9C DC 0C 97 04 3F 02 5E 8F D7 0C 95 04
F770 3F 02 5C 94 DC 0A 7C BC 02 54 90 DC 04 3F 02 57
F780 94 D0 04 7C BC 02 5C 97 04 7C BC 02 60 9C 04 3F
F790 02 65 9D D9 0A BC 02 9D 04 BC 02 9D 04 BC 02 99
F7A0 04 BC 02 9D 04 3F 02 65 A0 D9 0C 9D 04 BC 02 63
F7B0 9B 0C 9D 04 3F 02 61 9E DE 0C 99 04 3F 02 60 9D
F7C0 D9 0C 97 04 3F 02 5E 95 DE 0A 7C BC 02 55 92 04
F7D0 3F 02 59 95 DE 04 7C BC 02 5E 99 04 7C BC 02 61
F7E0 9E 04 3F 02 35 63 8E D7 0C 9E 04 3F 02 63 8E D7
F7F0 0A 7C BC 02 61 97 04 3F 02 60 9C DC 0C 60 97 DC
F800 04 3F 02 5E 9A D0 0A 7C BC 02 60 9A 04 3F 02 61
F810 99 D5 10 FC 02 D0 10 FC 02 D5 12 3F 00

（5）效果音响数据区

FA5A 24 9D 25 7F AA 01
FA60 AC 01 A9 01 AC 01 A9 01 AB 27 28 00 20 B0 24 B0
FA70 28 00 2F 08 2C 3C 2E 0F 05 2C 30 01 2C 3F 08 2C
FA80 3E 08 2C 3D 08 2C 3C 08 2C 3B 08 2C 3A 08 2C 39

FA90 08 2C 38 08 2C 37 08 2C 36 08 2C 35 08 2C 34 08
FAA0 2C 30 08 00 24 3F 25 7F 36 03 36 08 9E 01 3A 04
FAB0 01 37 BC 1E 12 37 36 20 AA 01 3A 01 01 37 BC 00
FAC0 24 3F 25 7F 9E 01 BC 9D 01 BC 9F 01 BC A5 01 BC
FAD0 00 3F 2C 30 20 3F 70 05 6B 05 70 05 6B 05 70 05
FAE0 6B 05 70 05 6B 0A 3F 00

(6) 赛车发动机音调变化控制数据

FC2E 7E 63
FC30 48 2D 12 F8 DF C6 AD 94 7C 64 4D 36 1F 08 F2 DC
FC40 C7 B2 9D 88 74 60 4C 38 25 12 00 ED DB C9 B8 A6
FC50 95 85 74 64 53 44 34 24 15 06 F7 E9 DA CC BE B1
FC60 A3 96 88 7B 6F 62 56 49 3D 31 26 1A 0F 03 F8 ED
FC70 E3 D8 CE C3 B9 AF A5 9B 92 88 7F 76 6D 64 5B 52
FC80 4A 42 39 31 29 21 19 11 0A 02 FB F4 EC E5 DE D8
FC90 D1 CA C3 BD B7 B0 AA A4 9E 98 92 8C 87 81 7B 76
FCA0 71 6B 66 61 5C 57 52 4D 48 43 3F 3A 36 31 2D 28
FCB0 24 20 1C 18 14 10 0C 08 04 00 FD F9 F5 F2 EE EB
FCC0 E8 E4 E1 DE DB D7 D4 D1 CE CB C8 C5 C3 C0 BD BA
FCD0 B8 B5 B2 B0 AD AB A8 A6 A3 A1 9F 9C 9A 98 96 93
FCE0 91 8F 8D 8B 89 87 35 83 81 7F 7E 7C 7A 78 76 75
FCF0 73 71 70 6E 6D 6B 69 68 66 65 63 62 61 5F FF

(7) 发声音调数据区

FD4E 06 AE
FD50 06 4E 05 F3 05 9E 05 4D 05 01 04 B9 04 75 04 35
FD60 03 F8 03 BF 03 89 03 57 03 27 02 F9 02 CF 02 A6
FD70 02 80 02 5C 02 3A 02 1A 01 FC 01 DF 01 C4 01 AB
FD80 01 93 01 7C 01 67 01 52 01 3F 01 2D 01 1C 01 0C
FD90 00 FD 00 EE 00 E1 00 D4 00 C8 00 BD 00 B2 00 A8
FDA0 00 9F 00 96 00 8D 00 85 00 7E 00 76 00 70 00 69

FDB0 00 63 00 5E 00 58 00 53 00 4F 00 4A 00 46 00 42
FDC0 00 3E 00 24 00 20 00 00

第二节 《大赛车》音响处理程序简介

《大赛车》的音响控制程序位于$F46E～$FDC7共2394个字节。其中程序占855个字节($F46E～$F67E为529个字节，$FAE8～$FC2D为326个字节。)；发声数据占1539个字节($F67F～$FAE7为1129个字节，$FC2E～$FDC7为410个字节。)。

音响控制程序可大体分为三部分：第一部分为发声准备处理，控制程序为$F46E～$F48D。这一部分完成打开发声开关、发声数据暂存区$1C0～$1CF复位(全部置为FFH)和$BE单元对$53单元的跟踪(令$BE＝$53)；第二部分为发声种类控制处理，控制程序为$F48E～$F4DE，由调该子程序时的累加器A中的数据决定发声的类型；第三部分为发声数据的采集、发声寄存器赋值(演奏)处理。该部分程序由三段组成：$F505～$F52F为第一段，它是后两段赋值程序的控制中枢；$F530～$F67E为第二段，由它完成三段音乐旋律的演奏和发令声、爆炸声、刹车声、暂停声的发出；$FAE8～$FC2D为第三段，由它完成赛车发动机的怠速声、加速声、减速声、超车声的发出。

第三节 发声准备处理程序分析

发声准备处理程序$F46E～$F48D，一般只在游戏开始时调用一次。它的主要作用是：令$4011＝0，以关闭第五

声部；令发声音长计数器 $BC＝0，以控制在以后调用 $F505 发声赋值子程序时不执行发声置数处理；令 $B8＝FF、$BD＝FF、$C2＝FF，使调用 $F505 子程序时跳过各个声部的赋值处理程序而直接返回；令 $4015＝0F，以打开第一～第四声部发声开关；令 $1C0～$1CF＝FF，以使 $4000～$400F 发声数据暂存器复位；令 $BE＝$53，以使 $BE 跟踪 $53，做好发出赛车发动机怠速和加、减速度音响的准备。

第四节　发声种类控制程序分析

发声种类控制程序 $F48E～$F4DE 由四小段程序构成。前三段程序的主要任务是完成向发声数据地址指针 $B9、$BA 单元、音长控制单元 $BC 的赋值；第四段程序的主要作用是关第三声部。

为便于分析，特把调用 $F48E 子程序时 A 寄存器的数值与数据地址、发声种类的对应关系汇总于表 6－2。

表 6－2　$F48E 子程序中发声种类和数据地址对照表

A，X $B8	$B9	$BA	$BD	$C2	发声种类
0	0	0	32	0	只发赛车发动机的声响
1	7F	F6	28	FF	游戏开始时的伴奏音乐
2	DB	F6	28	FF	比赛失败时的伴奏音乐
3	1E	F8	28	FF	标题画面时的伴奏音乐
4	5A	FA	28	2	高速急转弯和启动时的刹车声

续表

A,X $B8	$B9	$BA	$BD	$C2	发声种类
5	6C	FA	28	FF	赛车撞车时的爆炸声
6	A4	FA	2D	1	发令声
7	C0	FA	28	1	赛车走到路边时的刹车声
8	D1	FA	28	FF	按暂停键时的音响
FF			1		关闭各种发声

在表 6－2 中，除 A＝FF 外，A＝0～8 时都有 $BB＝10、$BC＝1。对照表 6－2 可很容易确定各类发声工作单元的赋值。

第五节　发声赋值程序分析

每类音响发声前，首先调用发声控制程序 $F48E，对有关发声单元 $B8～ $BD、$C2 赋值；然后，每次中断都要调用一次发声赋值子程序 $F505，以完成发声数据的采集和发声寄存器的赋值，演奏出预期的音乐旋律和效果音响。

一、发声控制中枢程序分析

以上曾谈到，发声赋值处理程序由两段组成，$F505 为发声处理程序的入口。执行 $F505，由 $F505～ $F52F 程序段对 $B8、$BC、$32 三个单元进行判断处理，以决定程序的转向。控制流程见图 6－1。

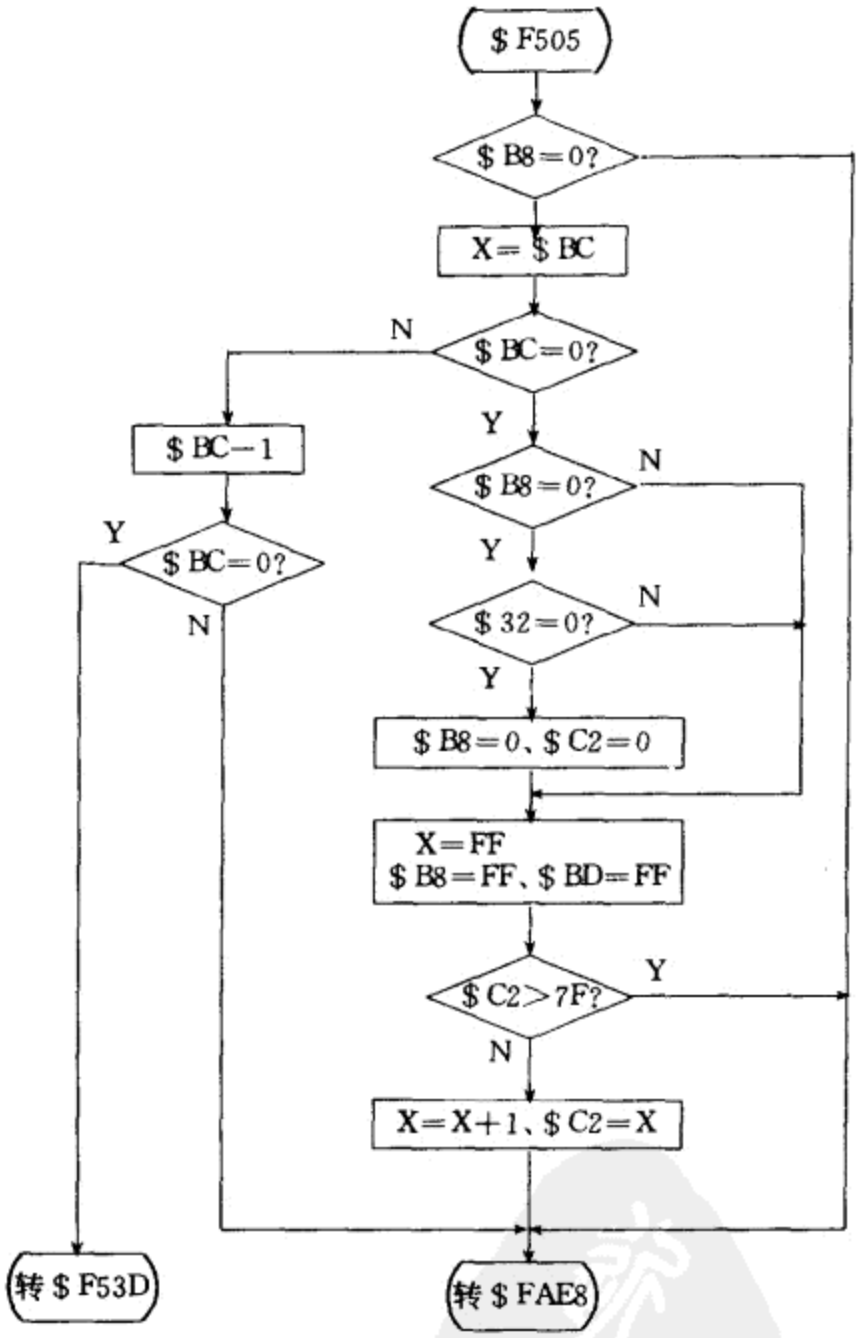


图 6—1 $F505 中发声处理程序转向的控制流程图

下面对照图 6—1 讨论发声程序的转向控制处理过程：

由图 6—1 可见，进入发声处理程序 $F505 后，首先检查发声类型控制器 $B8 的内容：

若 $B8＝0，则直接转 $FAE8，进行只发赛车发动机声响的处理；

若 $B8≠0，则令 X＝ $BC，判断音符演奏音长控制器 $BC 的单元内容。若 $BC≠0，则转 $F530，令 $BC－1，这时若 $BC＝0，表明或者是演奏刚刚开始须对发声单元赋值，或者是上一音符已经演奏完毕须采集下一演奏音符的数据，因而转 $F53D 执行发声数据的采集与赋值处理程序；若 $BC－1 后仍不为零，则表示上一音符的演奏尚未结束，不必重新赋值，故转 $FAE8 进行赛车发动机的发声判断处理。

若 $B8≠0、$BC＝0，则表明当前演奏的音乐旋律或当前的效果音响已经演奏完毕，故检查 $B8 单元是否等于 8，即判断当前刚刚演奏完的音响是否为暂停音响：若不是暂停音响则令 $B8＝FF，封锁 $F53D 赋值程序，直接转 $FAE8 进行赛车发动机的发声判断处理；若是暂停音响则再判断游戏暂停标志单元 $32 的内容，以检查是进入暂停状态还是解除暂停状态。

若是进入暂停状态则 $32＝1，于是转 $F520，保持 $C2 单元的原来状态（$C2＝FF），以关闭发动机的声音；若是解除暂停状态则有 $32＝0，故令 $C2＝0，在执行 $F52B 时令 $C2＝1，转 $FAE8 令发动机重新发声。

可见，$F505～ $F52F 程序段，确是《大赛车》游戏中发声处理的控制中枢。

二、发声赋值程序（一）$F53D 程序段的分析

$F53D～ $F67E 为第一段音响数据采集、发声单元赋值程序，其控制流程见图 6－2。

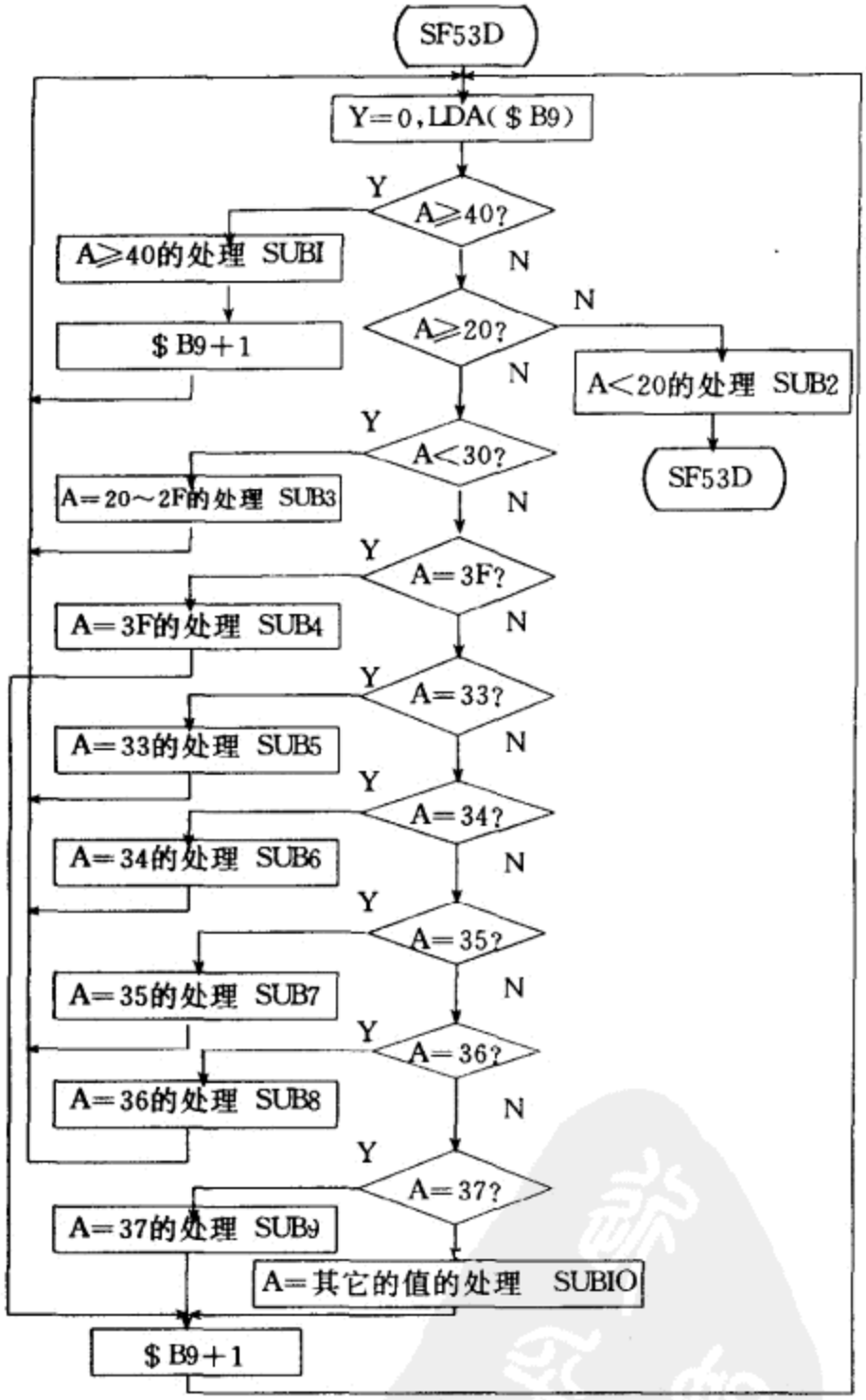


图 6－2　发声赋值程序(一)流程图

由图 6－2 可见，赋值程序(一)共由 10 个子程序组成，由于这些子程序结构简单、功能单一，故略去程序流程图，采取文字叙述的方式讨论。

SUB1：当以 $B9、$BA 为地址指针读出的数据大于、等于 40H 时，则执行 $F545～$F56C 的子程序。首先令读出的数据 A 减去 40H，令 A 右移位四次，送入 X 变址寄存器，以作为发声基址单元 $4002 的偏移量，即由读出数据的高四位减 4 的值，决定对哪一个主声部的音调细、粗调单元赋值，其对应关系如表 6－3。

表 6－3　$F545 赋值子程序中赋值数据与主声部的对应关系表

高四位减 4	选定的赋值声部及赋值单元
00	第一主声部的 $4002、$4003 单元
04	第二主声部的 $4006、$4007 单元
08	第三主声部的 $400A、$400B 单元

然后，令读出的发声数据与 3FH 进行“与”运算后，再左移一位，置入 Y 变址寄存器，以作为音调数据区 $FD4E～$FDC7 的变址指针，即以读出数据的低六位 D5～D0 左移一位的数值变址，读出音调细、粗调数据置入音调单元，以决定演奏的音符。把音调数据区 $FD4E～$FDC7 的数据，与 F BASIC BS·2A 版本系统软件中的 $8006～$8095 的音调数据相比较，将会发现两组数据的音调细调值是完全相同的（注——音调粗调值的 D3 位不影响音符之间的对应关系）。因此，我们可较容易地写出每一组音调数据所对应的音符。为方便分析，特把发声赋值数据的 D5～D0 位的取值与音调细、粗调数据、音符、主声部的对应关系汇总列于表 6－4。（为便于标注，以字母“D”作为音符后缀表示低一个八度音；以字母“G”作为音符后缀表示高一个八度音。从以上约

定出发，以“1”音为例，中音“1”无后缀；高一个八度音程的“$\dot{1}$”标注为“1G”；高两个八度音程的“$\ddot{1}$”标注为“1GG”；以此类推，低音亦然。）

表 6－4　发声赋值数据与音调数据、音符关系对照表

数据	4002	4003	音 符	数据	4002	4003	音 符
40	AE	06	1 DD	50	A6	02	3 D
41	4E	06	1#DD	51	80	02	3#4D
42	F3	05	2 DD	52	5C	02	4#D
43	9E	05	2#DD	53	3A	02	5 D
44	4D	05	3 DD	54	1A	02	5#D
45	01	05	3#4DD	55	FC	01	6 D
46	B9	04	4#DD	56	DF	01	6#D
47	75	04	5 DD	57	C4	01	7 D
48	35	04	5#DD	58	AB	01	7#D1
49	F8	03	6 DD	59	93	01	1#
4A	BF	03	6#DD	5A	7C	01	2
4B	89	03	7 DD	5B	67	01	2#
4C	57	03	7# DD1D	5C	52	01	3
4D	27	03	1#D	5D	3F	01	3#4
4E	F9	02	2 D	5E	2D	01	4#
4F	CF	02	2#D	5F	1C	01	5

续表

数据	4002	4003	音 符	数据	4002	4003	音 符
60	0C	01	1 DD	70	69	00	7#G 1GG
61	FD	00	1#DD	71	63	00	1#GG
62	EE	00	2 DD	72	5E	00	2 GG
63	E1	00	2#DD	73	58	00	2#GG
64	D4	00	3 DD	74	53	00	3 GG
65	C8	00	3#4DD	75	4F	00	3#GG
66	BD	00	4#DD	76	4A	00	4#GG
67	B2	00	5 DD	77	46	00	5 GG
68	A8	00	5#DD	78	42	00	5#GG
69	9F	00	6 DD	79	3E	00	6 GG
6A	96	00	6#DD	7A	24	00	4#GGG
6B	8D	00	7 DD	7B	20	00	5#GGG
6C	85	00	7#DD1D	7C	00	00	0
6D	7E	00	1#D				
6E	76	00	2 D				
6F	70	00	2#D				

注——发声数据等于 80～BCH、C0～FCH 时，对应的音调数据与等于 40～7CH 时相同。只不过发声数据等于 80～BCH 时把音调数据置入 $4006、$4007；等于 C0～FCH 时把音调数据置入 $400A、$400B。故该两段数据对应的音调数据表从略。

SUB2：$F537～$F57C 是读出的发声数据小于 20H 时的赋值子程序。

该子程序的作用是：将数据直接置入音长计数器 $BC，以控制音符的发声中断周期数，即音符的演奏音长；令 $B9+1；转 $FAE8 进行赛车发动机音响的发声处理。由图 6—2 可见，SUB2 子程序是赋值程序(一) $F53D 的唯一的出口。

SUB3：当发声赋值数据为 20～2FH 时，则执行 $F58A～$F59C 子程序。

首先屏蔽数据的高四位后置入 X 寄存器，作为以发声工作单元 $4000 为基址的偏移量；然后令数据地址指针 $B9+1，读取后面的数据置入 $4000+X 单元和发声数据暂存单元 $1C0+X；最后转 $F537 令 $B9+1 后，继续读数。可见，当读出的数据是 20H～2FH 时，则该数据的低四位指向发声工作单元的低位。在《大赛车》游戏中，该段程序的功能是向第一～三声部的音量音色单元和音形包络单元赋值。

SB4：当发声赋值数据等于 3FH 时，执行 $F5A3～$F5BD 子程序。

显然该段子程序的功能是令第一～第三主声部的音调细、粗调工作单元等于零，即令

$4002=0　　$4003=0

$4006=0　　$4007=0

$400A=0　　$400B=0

同时令三个声部的音调粗调数据暂存器

$1C3=FF

$1C7=FF

$1CB=FF

使三个声部暂停发声；最后转 $F537 令 $B9+1 后继

续读取发声数据。

SUB5：当读出的数据等于33H时，则继续读出其后面的两个数据分别置入$B9、$BA单元，然后转$F53D，从新的数据地址继续读数。可见，33H为改变读数地址的控制标志。

SUB6：发声数据等于34H时将执行$F5D7～$F5FA子程序。

首先读出34H后面的第一个数据置入X寄存器，读出第二个数据压栈保存；然后以$BB为变址偏移量，令Y＝$BB，将当前的发声数据地址高位指针$BA中的数据存入$1CF＋Y单元，地址低位指针$B9中的数据存入$1CE＋Y单元，令$BB－2，以记忆原数据地址指针的存储地址低位；最后，令34H后的第二数据从堆栈弹出置入$BA，把X寄存器的数据置入$B9，即设置新的读数地址指针于$B9、$BA单元中，转$F53D继续读数。

SUB7：当读出的数据为35H时则执行$F5BB～$F611子程序。

首先令$BB＋2、Y＝$BB，从$1CF＋Y单元中取出保存的原读数地址高位置入$BA单元，从$1CE＋Y单元中取出保存的原读数地址低位置入$B9单元；然后转$F53D，接原数据地址继续读数。可见，35H是34H的逆操作。

SUB8：当读出的数据等于36H时将执行$F619～$F635子程序。

首先，以$BB单元的数据为$1CD单元的偏移量，令X＝$BB，读出36H后面的第一个数据存入$1CD＋X单元；然后令$B9＋1，把$B9单元中的读数地址低位存入$1CE＋X单元、把$BA单元中的读数地址高位存入$1CF＋X单元；最后，令$BB－3，转$F53D继续读数。显然，该子程

序的功能是:读出 36H 后的第一个数据连同该数据的地址一起存入由 $BB 单元偏址的 $1D0～$1DF 单元中保存。

SUB9:当读出的数据等于 37H 时则执行 $F63A～$F656 子程序。

首先,令 X=$BB,使 X 指向在执行 SUB8 时 $1D0～$1DF 中保存的数据,令该数据减一(即令 $1D0+X 单元的内容减一)。然后,判断该数据:若该数据等于零则转 $F64E,令 $BB+3,转 $F537 令 $B9+1 后,继续读数;若该数据不等于零,则取出执行 SUB8 保存的读数地址置入 $B9、$BA 单元,转 $F53D 继续读数。

SUB10:当读出的数据为 30H、31H、32H、38～3EH 时则执行 $F657～$F67E 子程序。

首先,仅取该数据的 D2、D1 位左移一位后,作为相对于 $4002 的偏移量 X,再取后面的第一个数据存于累加器 A,对 A 进行判断:

若 A 小于 80H 则令 A+$(1C2+X)后置入

$(4002+X)

$(1C2+X)

单元,令 Y+$(1C3+X)+C→A,再比较累加器 A 与 $(1C3+X)单元中的内容:若相等则转 $F537 令 $B9+1,继续读数;若不等则把 A 中的数据置入 $(4003+X)、$(1C3+X)后,转 $F537 令 $B9+1 继续读数。

若 A 大于 7FH 时,则令变址寄存器 Y+1,重复 A<80H 的操作。

子程序 SUB10 的功能是:以累加器 A 中数据的 D2、D1 位左移一位后作为相对于发声工作单元 $4002 的偏移量,即指向第一～第四声部的音调细、粗调工作单元;将其后的第

一个数据作为原音调数据的增量，从而使音调越来越低；将其后的第二个数据置入$BC单元以控制发声音长。

通过以上分析可见，表6－2中的八类音响都由该段程序控制发出。

三、发声赋值程序(二)$FAE8程序段的分析

$FAE8程序段控制发出赛车发动机的“突突”声、加速声、减速声以及超车声。其工作流程见图6－3。

从图6－3可见，发声赋值程序(二)由两段控制程序和四个赋值子程序组成。

第一段控制程序为$FAE8～$FAFB，其功能是：第一、检查发声类别控制单元$C2：若$C2＞7FH则表示这时正由发声赋值程序(一)控制发出旋律音乐或发效果音响三、五、六，为避免发生工作单元的使用冲突，故不执行后面的发声处理；当$C2＜80H时，则表示这时或者由$F53D控制赋值发出效果音响一、二、四，或者不发声，这时将允许以后的发声程序使用发声工作单元。第二、若$C2＜80H，则检查赛车速度调节器(油门)$53单元：若$53≠$BE则表明赛车当前的速度调节杆位置与上一次中断期间的不同，故转$FAFC，改变发动机的“突突”声音调；若$53＝$BE则再检查赛车的第二速度控制器$51单元：若$51≠$BF，则说明尽管油门未变，但赛车正在提速中，要改变发动机音调，故转$FAFC；若$51＝$BF则表示当前赛车速度为恒定值，故不改变发动机的“突突”声音调，转$FB71进行超车和走到路边的判断、发声处理。

第二段控制程序为$FB71～$FB79，功能是：第一、检查赛车走到路边的标志单元$C3：若$C3＝1则表示赛车已

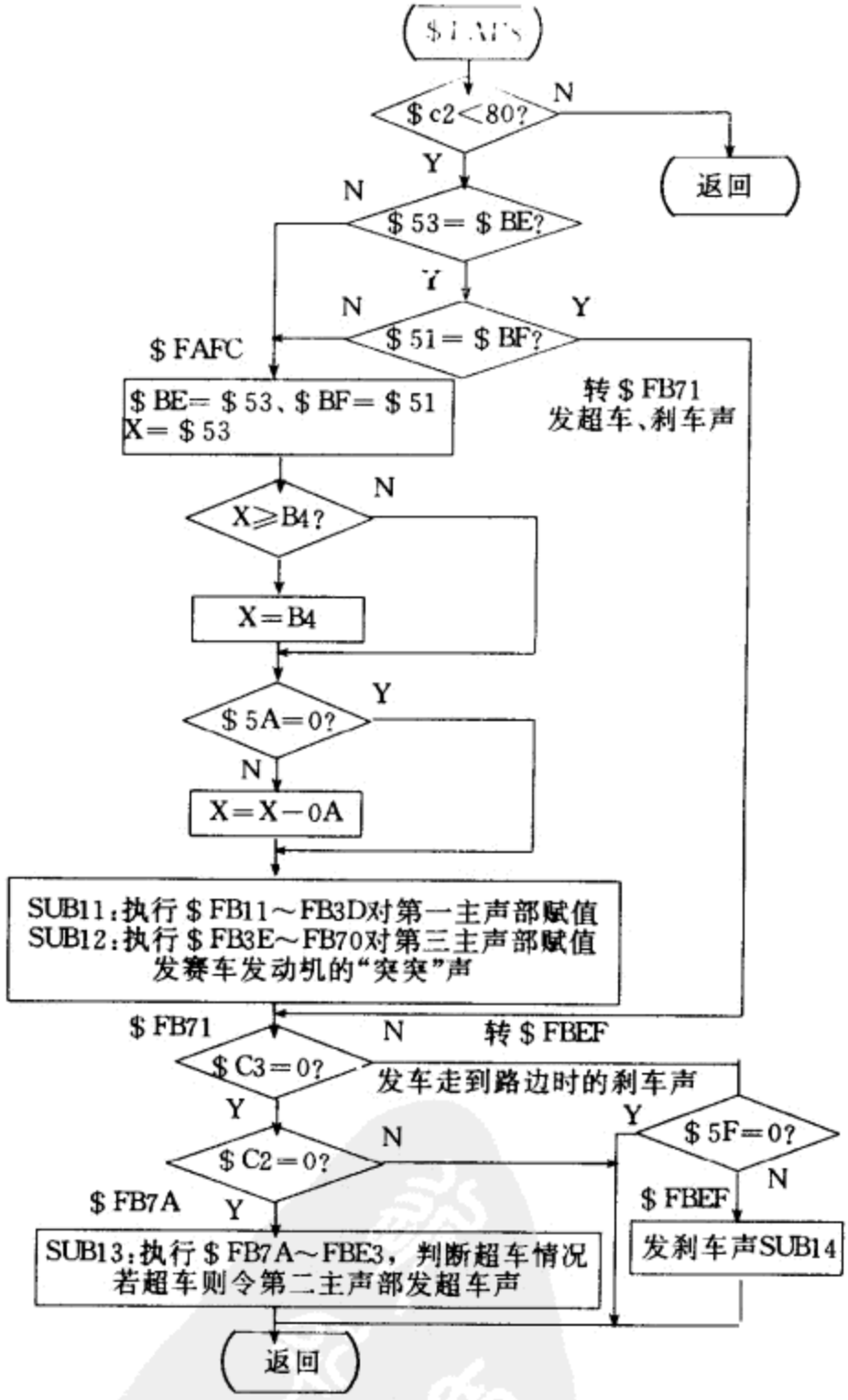


图 6—3　发声赋值子程序(二)工作流程图

经走到路边，故转$FBEF准备发刹车时的"吱吱"声；若$C3

＝0 则说明赛车未到路边，继续进行以后的判断。第二、检查发声类别控制器 $C2 单元：若 $C2＝0 则表示发声赋值程序(一)正处于不发声阶段，故可以使用第二声部发出超车声或刹车声；若 $C2≠0 则表明这时第二声部正用于发出超车声或刹车声，故直接返回调用程序，不再对第二声部赋值。

赛车发动机的“突突”声由第一、第二声部发出，赋值控制程序为 $FAFC～$FB70，其中含有两段赋值子程序 SUB11、SUB12。由图 6－3 可见，在执行赋值程序之前，尚有一段判断处理程序，作用是：根据速度调节器 $53 单元的取值决定发声数据地址的偏移量 X，X 值的确定过程是首先比较 $53 单元的数值是否大于 BCH：若大于 BCH 则令 X＝BC；若小于 BCH 则令 X＝$53。然后判断比赛成功标志单元 $5A：若 $5A＝0 则表示尚在比赛中，令 X 保持原值；若 $5A≠0 则表示本轮比赛成功(在规定的时间内跑完了比赛全程)，这时则令 X－0AH，以使赛车发动机的“突突”声迅速减小。

SUB11：第一声部发“突突”声子程序 SUB11 在 $FB11～$FB3D，程序流程见图 6－4。

从图 6－4 可见，当执行 $FB11 程序时，首先由 X 变址，从数据区 $FC2E～$FCEA 中读出相邻的两个数据相减后置入 $C0 单元，并令 $C0 右移两位。然后，取第二速度调节器 $51 单元的低两位 D1、D0 为计数器，控制加 $C0 的次数，并仍将累加值置入 $C0 单元；可见，由于 $51 单元的低两位有四种取值，故对应于每一个 X 值，$C0 将可能有四个不同的取值(但每次处理则只有唯一值)。最后，令 $4000＝B4、$4001＝7F、以确定发声的音色、音量；取 $(FC2E＋X)－$C0 的差置入 $4002，以调整音调细调值；取 $(100＋X)

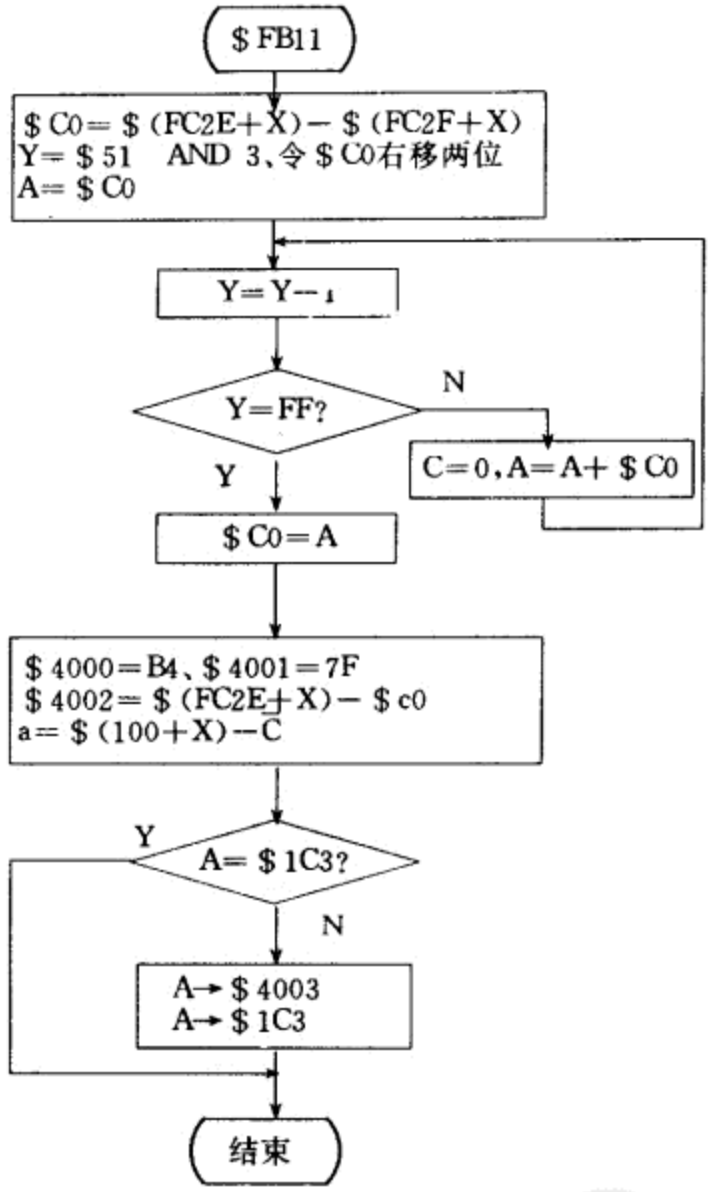


图 6－4　SUB11 流程图

减进位后的差置入 $4003，以调整音调粗调值。为较仔细地观察发动机“突突”声音调的变化过程，特把 X＝0～0FH、B0～BCH 时的音调细、粗调值列于表 6－5，X 的其它对应值读者可自己分析列出。

表 6－5　第一声部发赛车发动机“突突”声响的音调细、粗调值对照表

X	$C0				S4002				S4003		参考
	Y=0	Y=1	Y=2	Y=3	Y=0	Y=1	Y=2	Y=3	C=1	C=0	音符
00	06	0C	12	18	78	72	6C	66	07		7DDD
01	06	0C	12	18	5D	57	51	4B	07		7DDD
02	06	0C	12	18	42	3C	36	30	07		7DDD
03	06	0C	12	18	27	21	1B	15	07		7DDD
04	06	0C	12	18	0C	06	00	FA	07	06	1DD
05	06	0C	12	18	F2	EC	E6	E0	06		1DD
06	06	0C	12	18	D9	D3	CD	C7	06		1DD
07	06	0C	12	18	C0	BA	B4	AE	06		1DD
08	06	0C	12	18	A7	A1	9B	95	06		1DD
09	06	0C	12	18	8E	88	82	7E	06		1#DD
0A	06	0C	12	18	76	70	6A	64	06		1#DD
0B	05	0A	0F	14	5F	5A	55	50	06		1#DD
0C	05	0A	0F	14	48	43	3E	39	06		1#DD
0D	05	0A	0F	14	31	2C	27	22	06		2DD
0E	05	0A	0F	14	1A	15	10	0B	06		2DD
0F	05	0A	0F	14	03	FE	F9	F4	06	05	2DD
B0	00	00	00	00	96	96	96	96	00		4#G
B1	00	00	00	00	93	93	93	93	00		4#G
B2	01	02	03	04	91	91	91	91	00		4#G
B3	00	00	00	00	8F	8F	8F	8F	00		5G
B4	00	00	00	00	8D	8D	8D	8D	00		5G
B5	00	00	00	00	8B	8B	8B	8B	00		5G
B6	01	02	03	04	89	89	89	89	00		5G
B7	00	00	00	00	87	87	87	87	00		5#G
B8	00	00	00	00	85	85	85	85	00		5#G
B9	00	00	00	00	83	83	83	83	00		5#G
BA	00	00	00	00	81	81	81	81	00		6G
BB	00	00	00	00	7F	7F	7F	7F	00		6G
BC	00	00	00	00	7E	7E	7E	7E	00		6G
9D	00	00	00	00	C5	C5	C5	C5	00		1#G

由表 6－5 可见，发动机的“突突”声音调是随 $53 单元数值的增加而逐渐升高的。

SUB12：$FB3E～$FB70 是第三声部发赛车发动机“突突”声的赋值子程序，其控制流程见图 6－5。

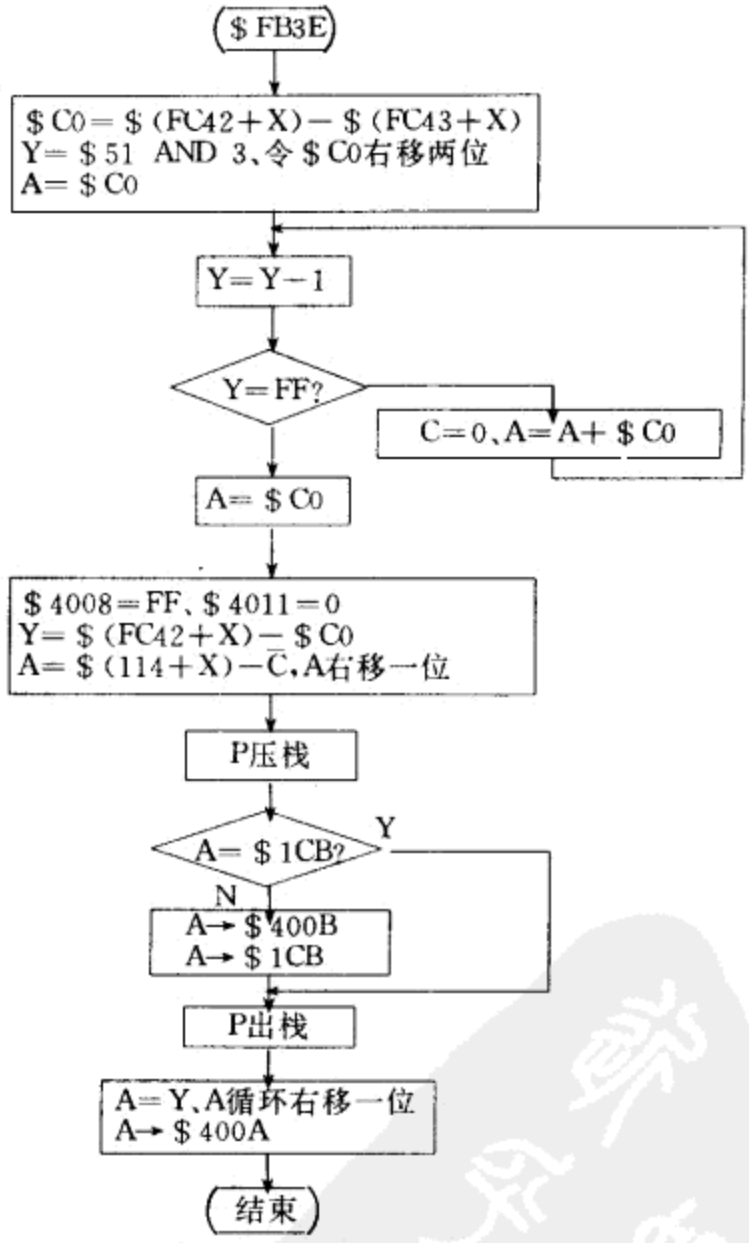


图 6－5　SUB12 流程图

由图 6－5 可见，第三声部的发声单元赋值与第一声部

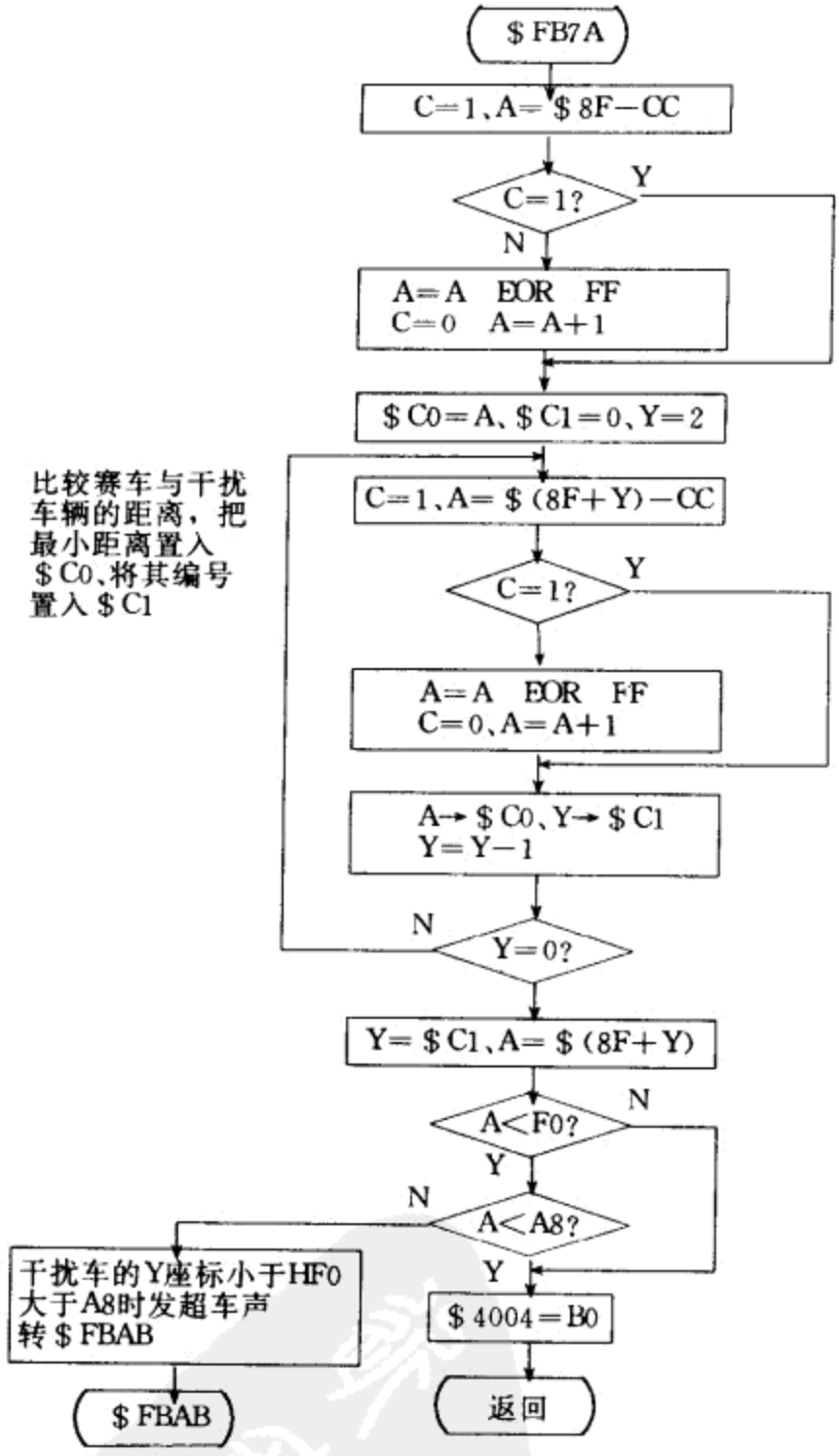


图 6−6　SUB13 流程图(一)

大同小异，不同的是：从数据区 $FC42～$FCFE 之间取数计算 $C0 的数值；对音量单元 $4008 置入 FFH；对 $400A

赋值前要令数据循环右移一位。根据 X 的取值 0～BCH，也可以列出第三声部的音调变化对照表，读者可自己列出，以观察其音调变化情况。

SUB13：$FB7A～$FBE3 是赛车超车判断和超车声发出控制处理程序，它由两部分组成：$FB7A～$FBAA 为赛车与干扰车辆的距离测试和是否发超车声的判断处理程序，其控制流程见图 6－6。

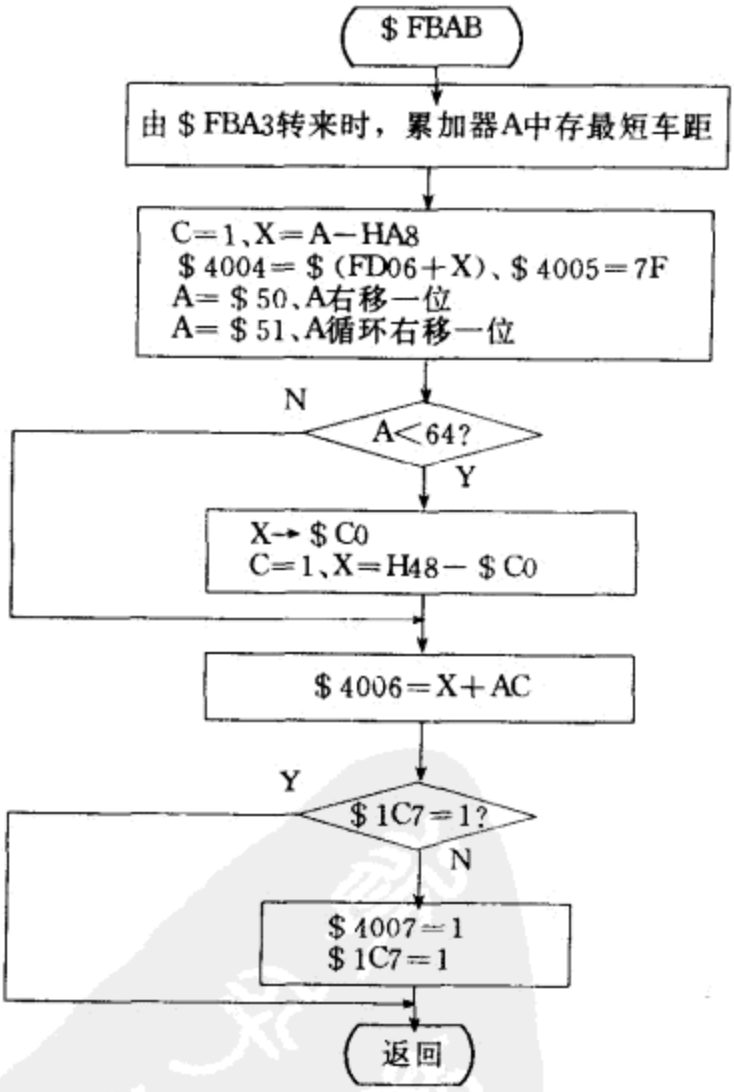


图 6－7　SUB13 流程图(二)

因为赛车的中心 Y 坐标为 CCH，故系统规定当干扰车

的 Y 坐标位于 A8～F0H 之间时开始发超车声。经过该段程序处理将把与赛车最短距离的干扰车编号存入 $C1 单元、最短距离存入 $C0 单元。当车距进入超车范围以内时则由 $FBA3 控制转 $FBAB 发超车声；若在超车范围之外则令 $4004＝B0，关闭第二声部的发声音量，返回调用程序。

$FBAB～$FBE3 为超车声赋值控制处理程序，其控制过程见图 6－7。

由图 6－7 可见，第二声部的音量单元 $4004 的取值是随车距的远近而变化的，其变化情况见表 6－6。

表 6－6　第二声部发超车声音量控制单元 $4004 赋值变化表

车 距	4004	车 距	4004	车 距	4004	车 距	4004
前 24	B1	前 12	BA	00	BF	后 12	BF
前 23	B1	前 11	BA	后 01	BF	后 13	BF
前 22	B2	前 10	BB	后 02	BF	后 14	BF
前 21	B2	前 0F	BB	后 03	BF	后 15	BF
前 20	B3	前 0E	BC	后 04	BF	后 16	BF
前 1F	B3	前 0D	BC	后 05	BF	后 17	BF
前 1E	B4	前 0C	BD	后 06	BF	后 18	BF
前 1D	B4	前 0B	BD	后 07	BF	后 19	BF
前 1C	B5	前 0A	BE	后 08	BF	后 1A	BF
前 1B	B5	前 09	BE	后 09	BF	后 1B	BF
前 1A	B6	前 08	BF	后 0A	BF	后 1C	BF

续表

前 19	B6	前 07	BF	后 0B	BF	后 1D	BF
前 18	B7	前 06	BF	后 0C	BF	后 1E	BF
前 17	B7	前 05	BF	后 0D	BF	后 1F	BF
前 16	B8	前 04	BF	后 0E	BF	后 20	BC
前 15	B8	前 03	BF	后 0F	BF	后 21	B8
前 14	B9	前 02	BF	后 10	BF	后 22	B4
前 13	B9	前 01	BF	后 11	BF	后 23	B0

其音量的变化曲线见图 6－8。

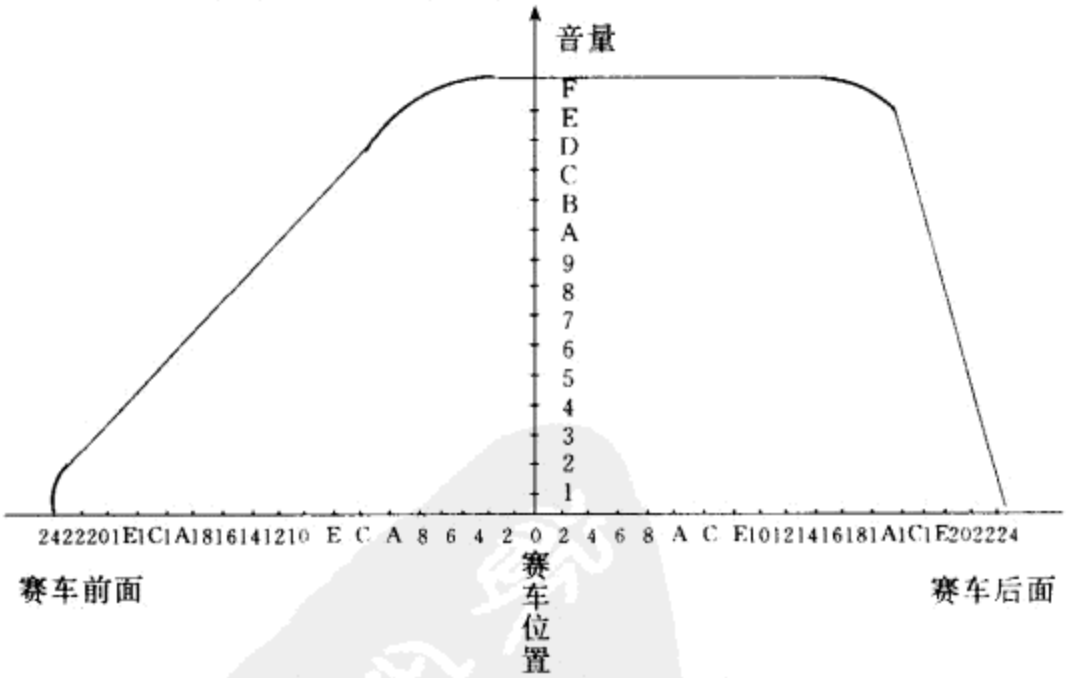


图 6－8　赛车超车音量变化曲线图

可见超车声的音量是逐渐升高而猝然降低的。$FBBA

～$FBD2 程序段作用是控制超车声音调发生变化，其取值范围为 0～F4H，由于音调粗调单元 $4007≠1，故由表 6－4 查得超车声的发声音调在“6～5#”之间。

SUB14：子程序 $FBEF～$FC14 是发赛车走到路边时的刹车声控制程序。执行该程序时，首先判断赛车运行标志单元 $5F 是否为零：若 $5F＝0 则表明这时的赛车可能已经停车，故直接返回调用程序，不发刹车声响；若 $5F＝1 则说明赛车肯定在行进中走到路边，故转 $FBF4 发刹车声。（注——$5F 单元是积分累加开关和比赛路线提示中白点的显示调整开关，当 $5F＝1 时积分加一、白点前移一点。它仅在 $60≠0、$40＝0 时才等于 1。）发刹车声的控制流程见图 6－9，发声过程留给读者分析。

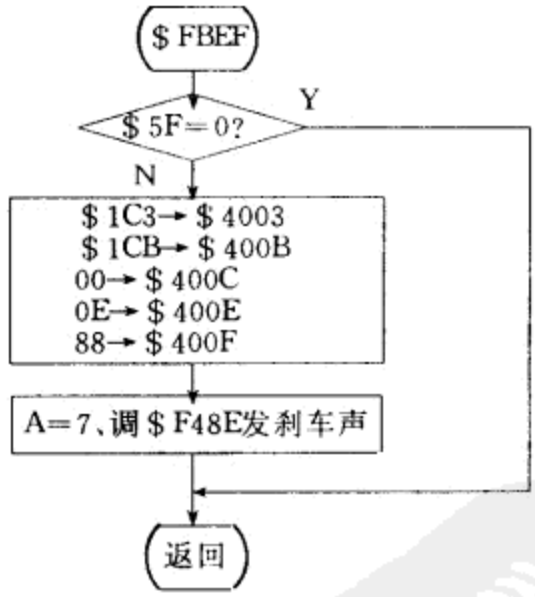


图 6－9　刹车声发出控制流程图

第六节　“旋律一”的发声数据采集和旋律结构

旋律一是标题画面时，等待游戏者按 SELECT 键选择

游戏难度和按 START 键开始比赛的等待音乐，也是《大赛车》游戏中演奏时间最长的一段音乐。因此，只要弄通它的数据采集和演奏工作过程就基本掌握了《大赛车》游戏的音响编程方法。

一、音乐旋律数据区结构

由表 6－2 可知，演奏旋律一时，由 A＝3 调 $F48E 子程序对 $B8～$BD、$C2 发声工作单元赋值，数据区首址为 $F81E。阅读 $F81E 开始的数据区发现，旋律一的发声数据为 $F81E～$FA59 共占 572 个字节。为便于分析，特把该段数据复录注释如下：

```
F81E  20  3E          (令 $4000＝3E)
F820  21  7F          (令 $4001＝7F)
F822  24  7D          (令 $4004＝7D)
F824  25  7F          (令 $4005＝7F)
F826  28  FF  3F      (令 $4008＝FF)
F828  34  57  F8      第一段旋律数据地址
F82C  34  8A  F8      第二段旋律数据地址
F82F  34  C1  F8      第三段旋律数据地址
F832  34  57  F8      第四段旋律数据地址
F835  34  8A  F8      第五段旋律数据地址
F838  34  EA  F8      第六段旋律数据地址
F83B  34  17  F9      第七段旋律数据地址
F83E  34  64  F9      第八段旋律数据地址
F841  34  17  F9      第九段旋律数据地址
F844  34  B1  F9      第十段旋律数据地址
F847  34  57  F8      第十一段旋律数据地址
F84A  34  8A  F8      第十二段旋律数据地址
```

F84D 34 C1 F8 第十三段旋律数据地址

F850 34 57 F8 第十四段旋律数据地址

F853 34 0A FA 00 第十五段旋律数据地址

第一乐章数据

F857 63 A0 D0 0F 3F 02 60 97 DC

F860 0A 7C BC 03 61 97 02 3F 02 60 98 DB 0A BC 03 94

F870 02 3F 02 5E 96 D4 0A BC 03 98 02 3F 02 5C 99 D9

F880 0F 3F 02 5B 9B DB 0F 3F 02 35

第二乐章数据

F88A 59 9C DC 0A 7C BC

F890 03 5B 9E 02 3F 02 5C A0 D9 0F 3F 02 5E 9E DE 0F

F8A0 3F 02 60 9D D9 0A BC 03 99 02 3F 02 61 95 DE 0A

F8B0 BC 03 99 02 3F 02 59 9E D2 0A BC 03 A1 02 3F 02

F8C0 35

第三乐章数据

F8C1 60 A0 D7 0F BC FC 02 9E D6 0A BC 03 9C 02 3F

F8D0 02 5E 9B D7 0A BC FC 03 9C D2 02 BC FC 02 9E D7

F8E0 0A BC FC 03 97 DB 02 BC 02 35

第四乐章数据

F8EA 60 A0 D7 0A BC 03

F8F0 97 02 3F 02 5E 99 D7 0A BC 03 9B 02 3F 02 5C 9C

F900 D0 0A 7C BC 03 5C 9C 02 3F 02 5B 9B DC 0A 7C BC

F910 03 5C 9C 02 3F 02 35

第五乐章数据

F917 5E 9A DA 0A BC 03 99 02 7C

F920 BC 02 5E 9A DA 0A BC 03 9E 02 3F 02 60 9D D9 0F

F930 3F 02 59 94 D9 0A 7C BC 03 63 9D 02 3F 02 61 9E

F940 DE 0A BC 03 99 02 3F 02 60 9D D9 0A BC 03 97 02

```
F950  3F 02 5E 95 DE 0A BC 03 97 02 BC FC 02 5E 99 D2
F960  0F 3F 02 35
```

第六乐章数据

```
F964                    60 9B D4 0F 3F 02 58 94 D6 0A 7C BC
F970  03 59 96 FC 02 7C BC 02 5B 98 D8 0A BC 03 99 02
F980  3F 02 5E 9B D4 0A BC 03 98 02 3F 02 5C 99 D9 0A
F990  7C BC 03 5B 9B 02 3F 02 5C 9C D4 0A 7C BC 03 5E
F9A0  9E 02 3F 02 60 A0 D9 0F 3F 02 59 94 D0 0F 3F 02
F9B0  35
```

第七乐章数据

```
F9B1     5E 96 DE 0A 7C BC 03 9D 94 02 3F 02 5E 96 D9
F9C0  0A 7C BC 03 60 97 02 3F 02 62 99 DE 0A BC 03 9B
F9D0  02 3F 02 5E 9C D2 0F 3F 02 63 9B D7 0A 7C BC 03
F9E0  5B 97 02 3F 02 5C 99 DE 0A 7C BC 03 5B 9A 02 3F
F9F0  02 5E 9B E3 0A 3F 03 57 97 D7 02 3F 02 59 99 D9
FA00  0A 3F 03 5B 9B DB 02 3F 02 35
```

第八乐章数据

```
FA0A                                  59 9C DC 0A 7C BC
FA10  03 5B 9E 02 3F 02 5D A0 D9 0A BC 03 A3 02 3F 02
FA20  5E A1 D2 0A BC 03 A0 02 3F 02 61 9E DE 0A BC 03
FA30  9C 02 3F 02 5B 9E D7 0A 7C BC 03 57 9B 02 3F 02
FA40  59 9C D7 0A 7C BC 03 5B 9E 02 3F 02 5C A0 DC 0F
FA50  FC 02 D7 0F FC 02 D0 11 3F
```

由以上数据注释可见，标题音乐旋律共由八段乐章、十五小段按一定的顺序排列组合而成。开始的 11 个数据（$F81E～$F828）用于对第一～第三声部的音色音量、音形包络单元赋值；随后的 45 个数据（$F829～$F855）每 3 个一组，组成 15 个数据地址，由数据 34H 控制取数地址的转

移。每一乐章的数据中由最后的一个数据35H控制返回原取数地址。由地址为$F856的数据0控制旋律演奏的结束。

二、第一乐章数据的采集和赋值

第一乐章数据在$F857～$F889，共51个数据。有效数据50个，共分18组。

下面分析数据的采集和赋值过程。

当执行赋值程序$F53D时，首先读出$F81E的数据20H，故转$F584，执行$F58A子程序向$4000单元置入$F81F单元的数据3EH；然后再读$F820的数据21H，执行$F58A子程序向$4001单元置入$F821单元的数据7FH；以后，依次把$F823单元的数据7DH置入$4004、$F825单元的数据7FH置入$4005、$F827单元的数据FFH置入$4008。当读到$F828单元时，数据为3FH，故转$F5A3子程序令三个声部的音调细、粗调单元等于零。最后，读出$F529单元的数据34H，故执行$F5D4子程序，保存当前数据地址于$1DE、$1DF单元，读出34H后的两个数据置入$B9、$BA单元，使地址指针指向新的数据地址$F857，从而开始了第一乐章的数据采集、赋值操作。

在数据采集、赋值的操作过程中只执行$F545、$F573、$F5A3三段子程序：执行$F545子程序，将根据读出的数据从表6—4中查出对应的音调数据置入相应的音调单元；执行$F573子程序将把数据置入$BC单元，以控制当前音符的发声时间；执行$F5A3子程序将令三个声部的音调单元全部置入零，使三个声部暂停发声，以改变音调单元的数值。当读数地址为$F889时，数据为35H，将执行$F5FF子程序，取回原读数地址存入$B9、$BA单元，结

束第一乐章数据的采集操作。现将第一乐章对三个声部音调单元的赋值列于表 6－7。

表 6－7　第一乐章对音调单元的赋值汇总表（$F857～$F888）

序号	数据				第一主声部音调			第二主声部音调			第三主声部音调		
	一	二	三	音长	4002	4003	音符	4006	4007	音符	400A	400B	音符
1	63	A0	D0	0F	E1	00	7	0C	01	5#	A6	02	3
D2	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
3	60	97	DC	0A	0C	01	5#	C4	01	7D	52	01	3
4	7C	BC		03	00	00	0	00	00	0			
5	61	97		02	FD	00	6	C4	01	7D			
6	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
7	60	98	DB	0A	0C	01	5#	AB	01	1	67	01	2#
8		BC		03				00	00	0			
9		94		02				1A	02	5#D			
10	3F		02	00	00	0	00	00	0	00	00	0	
11	5E	96	D4	0A	2D	01	4#	DF	01	6#D	1A	02	5#D
12		BC		03				00	00	0			
13		98		02				AB	01	1			
14	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
15	5C	99	D9	0F	52	01	3	93	01	1#	93	01	1#
16	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
17	5B	9B	DB	0F	67	01	2#	67	01	2#	67	01	2#
18	3F		02	00	00	0	00	00	0	00	00	0	

若取 16H 个中断周期为一拍，并忽略数据为 3FH 时不发声的后一个中断周期，将前一个中断周期加给其前面的一个音符。则有

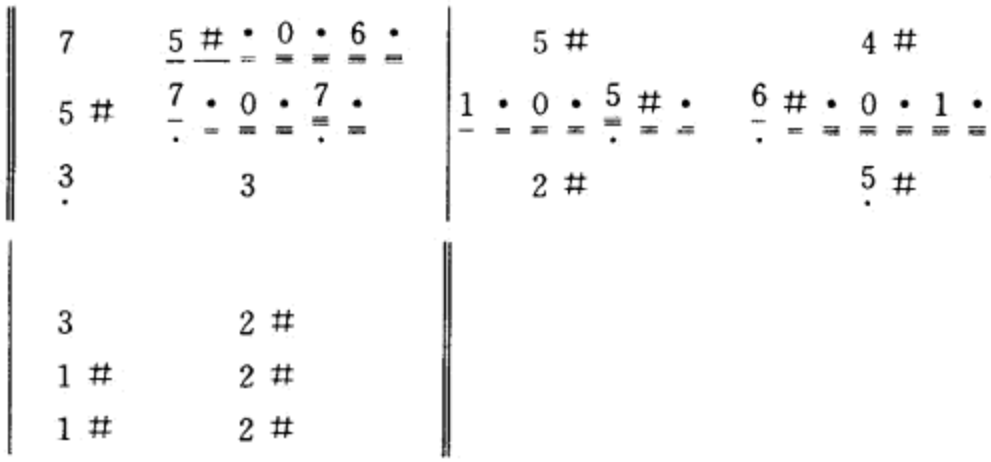
音长等于 2 时为 1/8 拍，以“1”音为例，表示为“$\underline{1}$”

音长等于 3 时为 3/16 拍，表示为“$\underline{\underline{1}}\cdot$”

音长等于 0AH 时为 5/8 拍，表示为“$\underline{1}\cdot$”

音长等于 0FH 时为 15/16 拍，近似为 1 拍。

根据表 6－7，第一乐章的旋律如下：



三、第二乐章数据的采集与赋值

第二乐章的数据在 $F88A～$F8C0 共 55 个数据，组成 20 组数据。数据的采集与赋值操作过程与第一乐章相同，仅将对各个声部的音调单元赋值情况列于表 6－8。

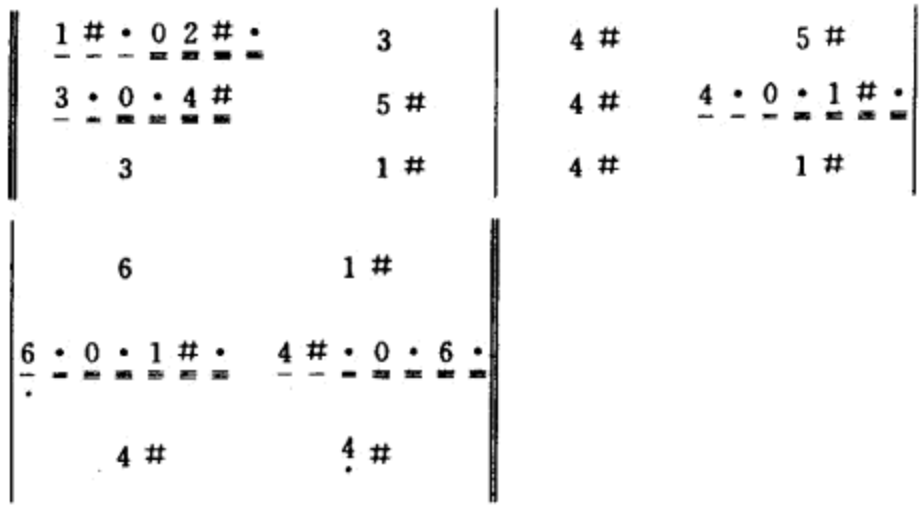
表 6－8　第二乐章对音调单元的赋值汇总表（$F88A～$F8BF）

序号	数据				第一主声部音调			第二主声部音调			第三主声部音调		
	一	二	三	音长	4002	4003	音符	4006	4007	音符	400A	400B	音符
19	59	9C	DC	0A	93	01	1#	52	01	3	52	01	3
20	7C	BC		03	00	00	0	00	00	0			

续表

序号	数据				第一主声部音调			第二主声部音调			第三主声部音调		
	一	二	三	音长	4002	4003	音符	4006	4007	音符	400A	400B	音符
21	5B	9E		02	67	01	2#	2D	01	4#			
22	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
23	5C	A0	D9	0F	52	01	3	0C	01	5#	93	01	1#
24	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
25	5E	9E	DE	0F	2D	01	4#	2D	01	4#	2D	01	4#
26	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
27	60	9D	D9	0A	0C	01	5#	3F	01	4	93	01	1#
28		BC		03				00	00	0			
29		99		02				93	01	1#			
30	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
31	61	95	DE	0A	FD	00	6	FC	01	6D	2D	01	4#
32		BC		03				00	00	0			
33		99		02				93	01	1#			
34	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
35	59	9E	D2	0A	93	01	1#	2D	01	4#	5C	02	4#D
36		BC		03				00	00	0			
37		A1		02				FD	00	6			
38	3F		02	00	00	0	00	00	0	00	00	0	

按第一乐章的约定，第二乐章的旋律如下：



四、第三乐章数据的采集与赋值

第三乐章的数据在 $F8C1～$F8E9 共 40 个数据，组成 14 组音调赋值数据。数据的采集与赋值操作过程与第一乐章相同，仅将对各个声部的音调单元赋值情况列于表 6—9。

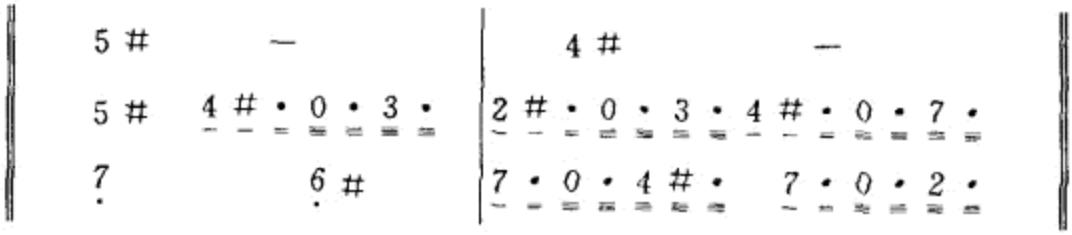
表 6—9　第三乐章对音调单元的赋值汇总表（$F8C1～$F8E9）

序号	数据				第一主声部音调			第二主声部音调			第三主声部音调		
	一	二	三	音长	4002	4003	音符	400E	4007	音符	400A	400B	音符
39	60	A0	D7	0F	0C	01	5#	0C	01	5#	C4	01	7D
40		BC	FC	02				00	00	0	00	00	0
41		9E	D6	0A				2D	01	4#	DF	01	6#D
42		BC		03				00	00	0			
43		9C		02				52	01	3			
44	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
45	5E	9B	D7	0A	2D	01	4#	67	01	2#	C4	01	7D

续表

序号	数据				第一主声部音调			第二主声部音调			第三主声部音调		
	一	二	三	音长	4002	4003	音符	4006	4007	音符	400A	400B	音符
46		BC	FC	03				00	00	0	00	00	0
47		9C	D2	02				52	01	3	5C	02	4#D
48		BC	FC	02				00	00	0	00	00	0
49		9E	D7	0A				2D	01	4#	C4	01	7D
50		BC	FC	03				00	00	0	00	00	0
51		97	DB	02				C4	01	7D	67	01	2#
52		BC		02				00	00	0			

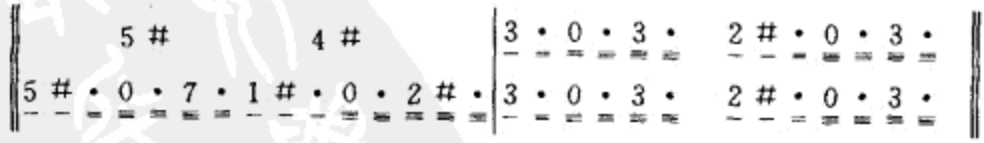
按第一乐章的约定，第三乐章的旋律如下：



五、第四～第八乐章的旋律

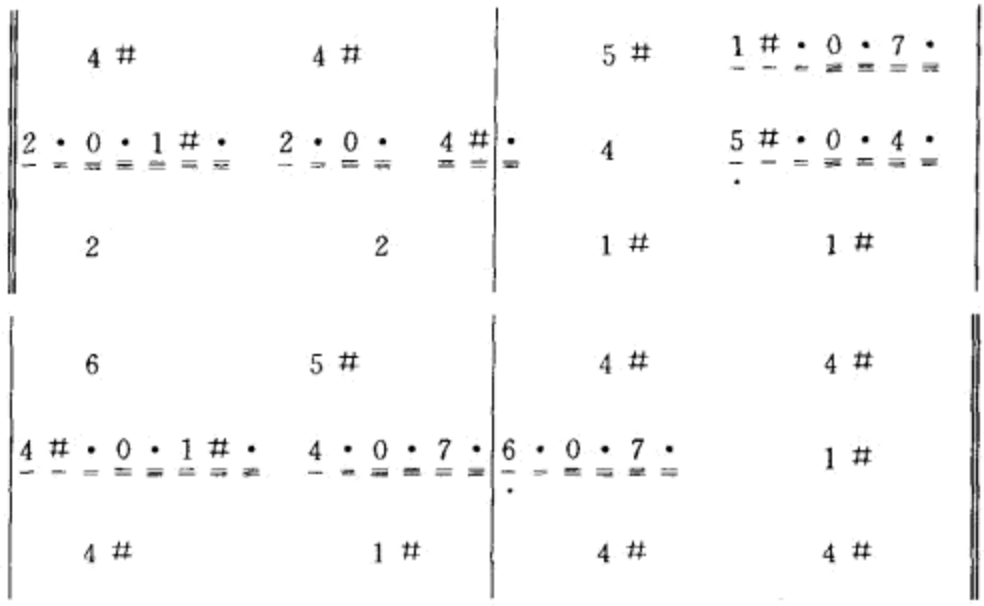
第四～第八乐章的数据采集、音调赋值过程与前三段乐章完全相同，读者可自己列出音调赋值表，下面仅给出各乐章的音乐旋律。

第四乐章的数据地址在 $F8EA～$F916 共 45 个数据，组成 16 组音调赋值数据，其音乐旋律如下：

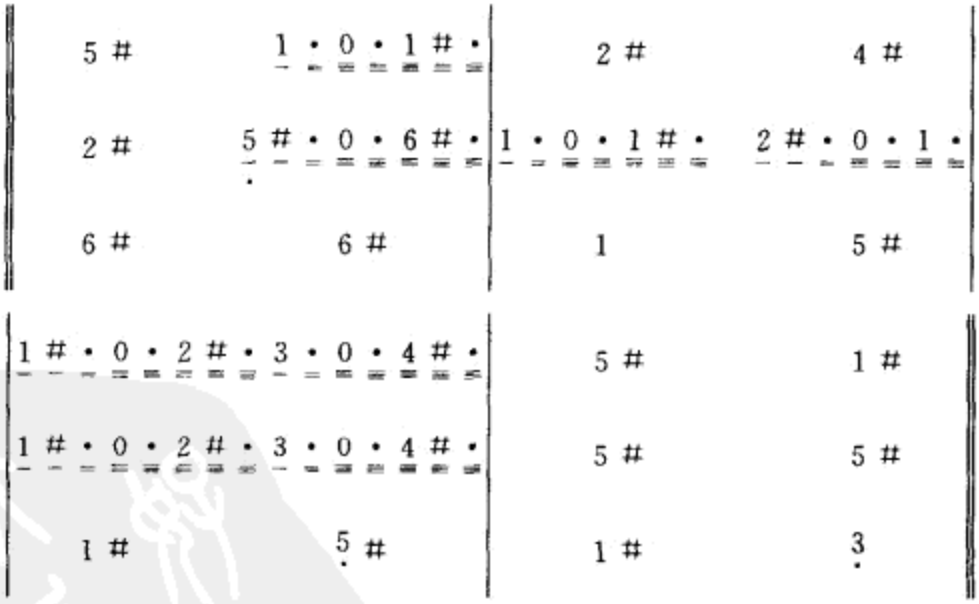


7	7	3	3

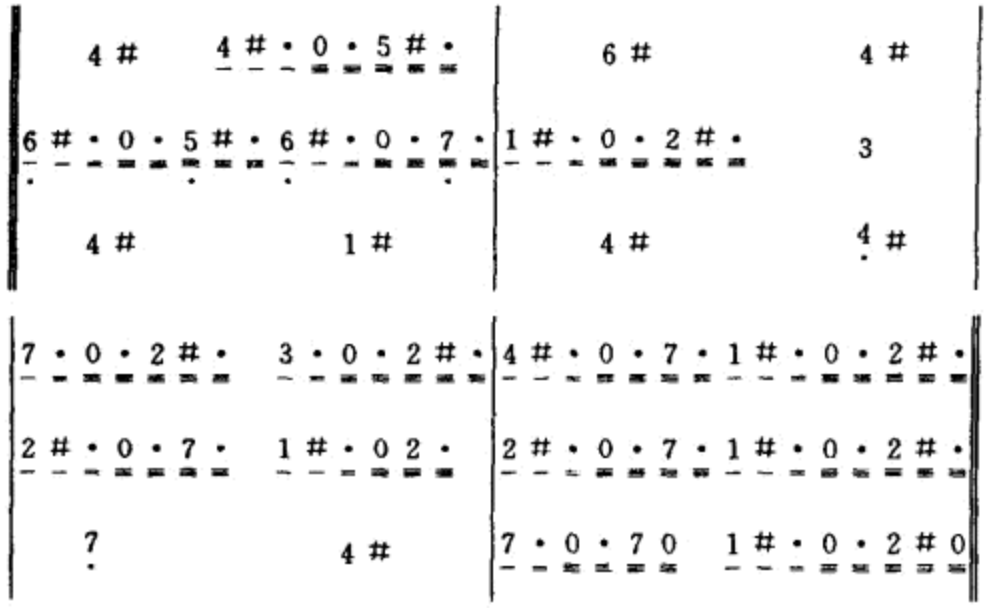
第五乐章的数据地址在 $F917～$F963 共 77 个数据，组成 28 组音调赋值数据，其音乐旋律如下：



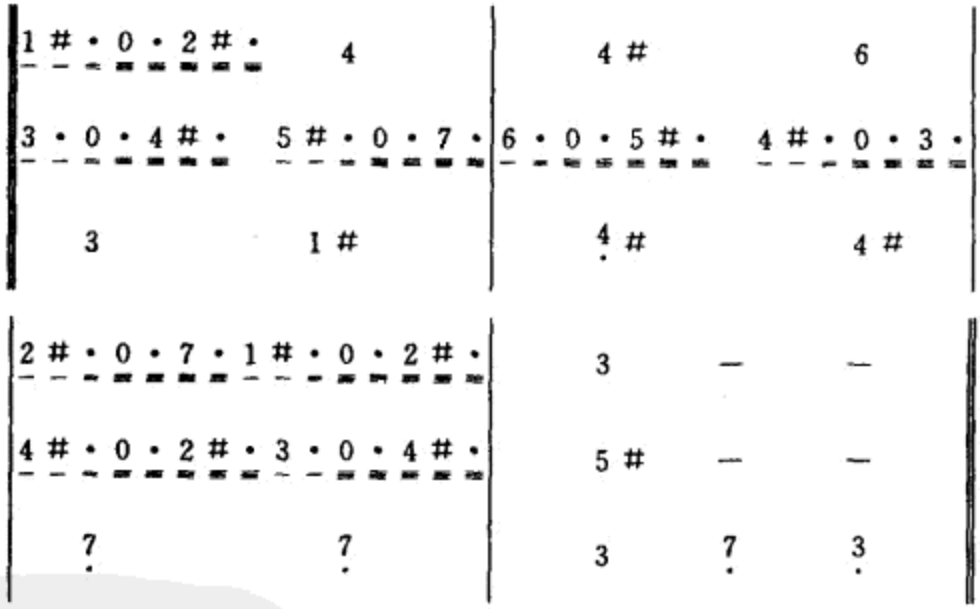
第六乐章的数据地址在 $F964～$F9B0 共 77 个数据，组成 26 组音调赋值数据，其音乐旋律如下：



第七乐章的数据地址在 $F9B1～$FA09 共 89 个数据，组成 30 组音调赋值数据，其音乐旋律如下：



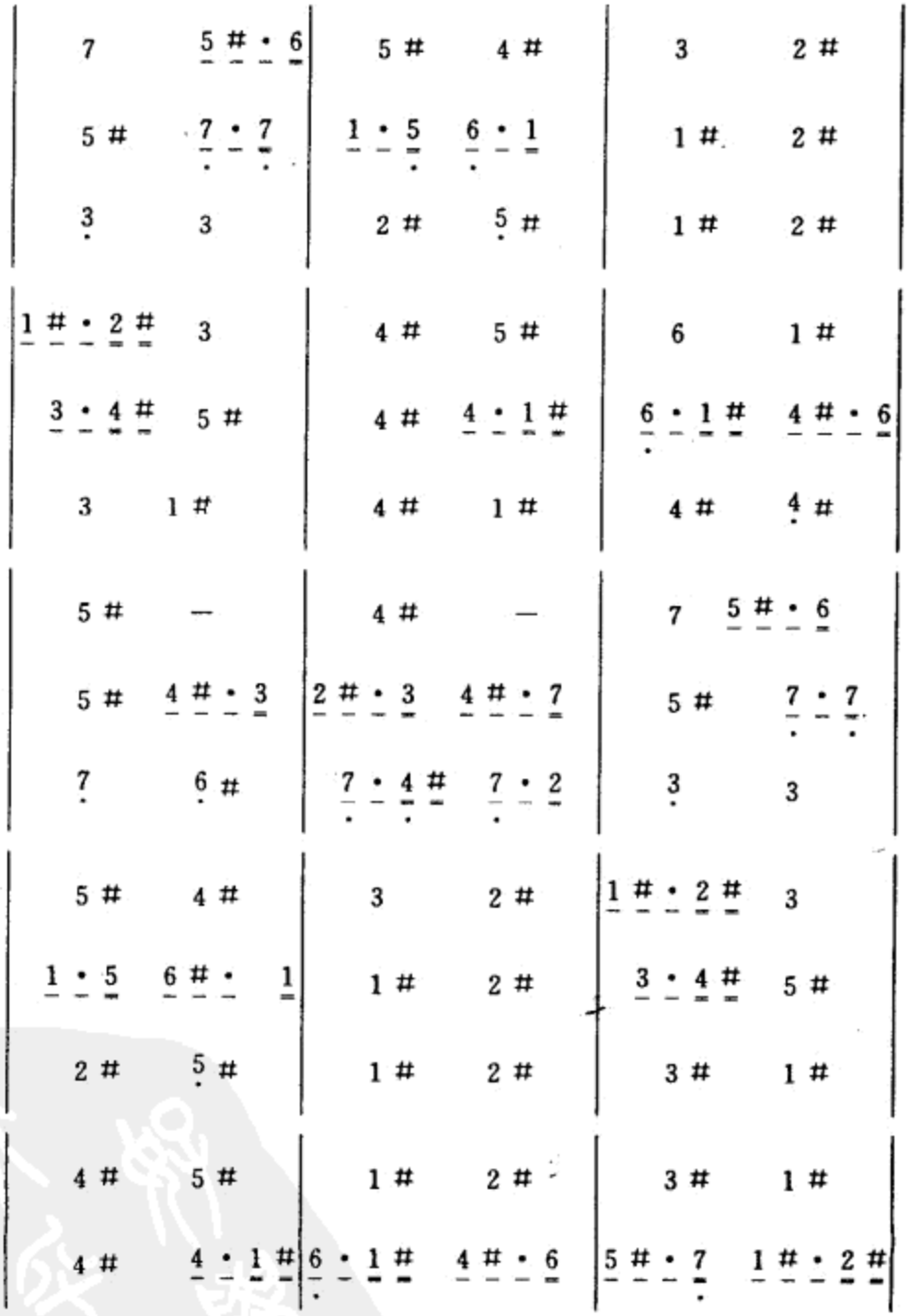
第八乐章的数据地址在$FA0A～$FA59共80个数据，组成30组音调赋值数据，其音乐旋律如下：



六、标题画面音乐旋律结构

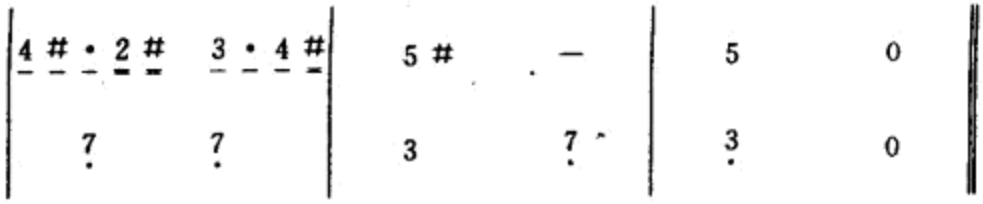
由数据区$F829～$F855可知，标题画面音乐共由十五段乐章按一定的次序组合而成。各乐章的排列顺序依次是：一、二、三、一、二、四、五、六、五、七、一、二、三、一、八。如果

考虑到人耳的听觉惰性，把各旋律中的 1/8 拍的休止时间加给前一个音符，按以上乐章顺序，就可写出标题画面的音乐旋律。



4 #	1 #	4 #	4 #	7	7
3 • 3	2 # • 3	4 #	4 #	5 #	1 # • 7
3 • 3	2 # • 3	2 • 1 #	2 • 4 #	4	5 # • 4
3	3	2	2	1 #	1 #
6	5 #	4 #	4 #	5 #	1 • 1 #
4 # • 1 #	4 • 7	6 • 7	1 #	2 #	5 # • 6 #
4 #	1 #	4 #	4 #	5 #	6 #
2 #	4 #	3 • 2 #	3 • 4 #	5 #	1 #
1 • 1 #	2 # • 1	1 # • 2 #	3 • 4 #	5 #	5 #
1	5 #	1 #	5 #	1 #	3
4 #	4 #	5 #	1 # • 7	6	5 #
2 • 1 #	2 • 4 #	4	5 # • 4	4 # • 1 #	4 • 7
2	2	1 #	1 #	4 #	1 #
4 #	4 #	4 #	4 # • 5 #	6 #	4 #
6 • 7	1 #	6 # • 5 #	6 # • 7	1 # • 2 #	3
4 #	4 #	4 #	1 #	4 #	4 #

7 · 2#	3 · 2#	4#· 7	1#· 2#	7	5#· 6		
2#· 7	1#· 2	2#· 7	1#· 2#	5#	7 · 7		
7	4#	7 · 7	1#· 2#	3	3		
5#	4#	3	2#	1#· 2#	3		
1 · 5#	6#· 1	1#	2#	3 · 4#	5#		
2#	5#	1#	2#	3	1#		
4#	5#	6	1#	5#	—		
4#	4 · 1#	6 · 1#	4#· 6	5#	4#· 3		
4#	1#	4#	4#	7	6#		
4#	—	7	5#· 6	5	4#		
2#· 3	4#· 7	5#	7 · 7	1 · 5#	6#· 1		
7 · 4#	7 · 2	3	3	2#	5#		
3	2#	1#· 2#	4	4#	6		
1#	2#	3 · 4#	5#· 7	6 · 5#	4#· 3		
1#	2#	3	1#	4#	4#		
2#· 7	1#· 2#	3	—	3	0		



有电脑游戏机的朋友可以把以上音符写入 PLAY 语句加以验证，F BASIC 程序如 No. 6－8 所示：

```
0  REM NO. 6－8《F－1 RACE》标题画面音乐
5  PLAY "Y0M0V15T2:Y2M0V15T2:T2"
10  PLAY "O3B5#G4A1:O3#G5O2B4B1:O2E5O3E"
20  PLAY "#G5#F:O3C4O2G1A4O3C1:#DO2#G"
30  PLAY "E#D:C5D:O3#C#D"
40  PLAY "#C4#D1E5:E4#F1#G5:E#C"
50  PLAY "#F#G:#FF4#C1:#F#C"
60  PLAY "A#C:O2A4O3#C1#F4A1:#FO2#F"
70  PLAY "#G7:#G5#F4E1:B#A"
80  PLAY "#F7:#D4E1#F4O2B1:B4#F1B4O3D1"
90  PLAY "B5#G4A1:O3#G5O2B4B1:O2E5O3E"
100  PLAY "#G5#F:O3C4O2G1#A4O3C1:#DO2#G"
110  PLAY "E#D:#C5#D:O3#C#D"
120  PLAY "#C4#D1E5:E4#F1#G5:E#C"
130  PLAY "#F#G:#FF4#C1:#F#C"
140  PLAY "A#C:O2A4O3#C1#F4A1:#FO2#F"
150  PLAY "#G#F:#G4O2B1O3#C4#D1:BB"
160  PLAY "E4E1#D4E1:E4E1#D4E1:EO3E"
170  PLAY "#F5#F:D4#C1D4#F1:DD"
180  PLAY "#G#C4B1:F5O2#G4F1:#C#C"
190  PLAY "A5#G#F4#C1F4O2B1:#F#C"
200  PLAY "#F7:A4B1O3#C5:#FO2#F"
210  PLAY "#G5C4#C1:#DO2#G4#A1:#G#A"
220  PLAY "#D5#F:O3C4#C1#D4C1:O3CO2#G"
```

```
230  PLAY "E4#D1E4#F1;#C4#D1E4#F1;O3#CO2#G"
240  PLAY "#G5#C;#G5O2#G;O3#CO2E"
250  PLAY "#F#F;D4#C1D4#F1;O3DD"
260  PLAY "#G#C4B1;F5O2#G4O3F1;#C#C"
270  PLAY "A5#G;#F4#C1F4O2B1;#F#C"
280  PLAY "#F7;A4B1O3#C5;#FO2#F"
290  PLAY "#F5#F4#G1;O2#A4#G1#A4B1;O3#F#C"
300  PLAY "#A5#F;O3#C4#D1E5;#FO2#F"
310  PLAY "B4#D1E4#D1;#D4O2B1O3#C4D1;BO3#F"
320  PLAY "#F4O2B1;#D4O2B1;B4O2B1"
325  PLAY "O3#C4#D1;#C4#D1;O3#C4#D1"
330  PLAY "B5#G4A1;#G5O2B4B1;O2E5O3E"
340  PLAY "#G5#F;O3C4O2#G1;#A4O3C1;#DO2#G"
350  PLAY "E#D;#C5#D;O3#C#D"
360  PLAY "#C4#D1E5;E4#F1#G5;E#C"
370  PLAY "#F#G;#FF4#C1;#F#C"
380  PLAY "A#C;O2A4O3#C1#F4A1;#FO2#F"
390  PLAY "#G7;#G5#F4E1;B#A"
400  PLAY "#F;#D4E1#F4O2B1;B4#F1B4O3D1"
410  PLAY "B5#G4A1;#G5O2B4B1;O2E5O3E"
420  PLAY "#G5#F;O3C4O2#G1#A4O3C1;#DO2#G"
430  PLAY "E#D;#C5#D;O3#C#D"
440  PLAY "#C4#D1F4;E4#F1#G4B1;E#C"
450  PLAY "#FA;A4#G1#F4E1;O2#FO3#F"
460  PLAY "#D4O2B1;#F4#D1;O2B"
465  PLAY "O3#C4#D1;E4#F1;B"
470  PLAY "E8;#G8;O3EO2BE"
480  END
```

第七节　“旋律二”的发声数据采集和旋律结构

旋律二是在标题画面下按 START 键，绘制赛车路线画面以后的音乐，也称“GAME START”音乐。该段音乐演奏结束后即绘制比赛画面，开始比赛。

由表 6－2 可知，演奏旋律二时，由 A＝1 调 $F48E 子程序对 $B8～$BD、$C2 发声工作单元赋值，数据区首址为 $F67F。

旋律二的发声数据在 $F67F～$F6DA 共占 92 个字节，组成 27 组数据，数据区结构与旋律一完全相同，故数据采集和赋值过程的讨论从略，仅将置数结果叙述如下：在调 $F505 子程序时，执行 $F53D，令

$4000＝3F　　$4001＝7F

$4004＝3F　　$4005＝7F

$4008＝FF

对各声部音调单元的赋值见表 6－10。

表 6－10　旋律二演奏中三个声部音调单元的赋值

序号	数据				第一主声部音调			第二主声部音调			第三主声部音调		
	一	二	三	音长	4002	4003	音符	4006	4007	音符	400A	400B	音符
1	5E	99	DB	06	2D	01	4#	93	01	1#	67	01	2#
2	7C	B0		02	00	00	0	69	00	1DD			
3	5E	99		06	2D	01	4#	93	01	1#			
4	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
5	5E	99	DB	06	2D	01	4#	93	01	1#	67	01	2#

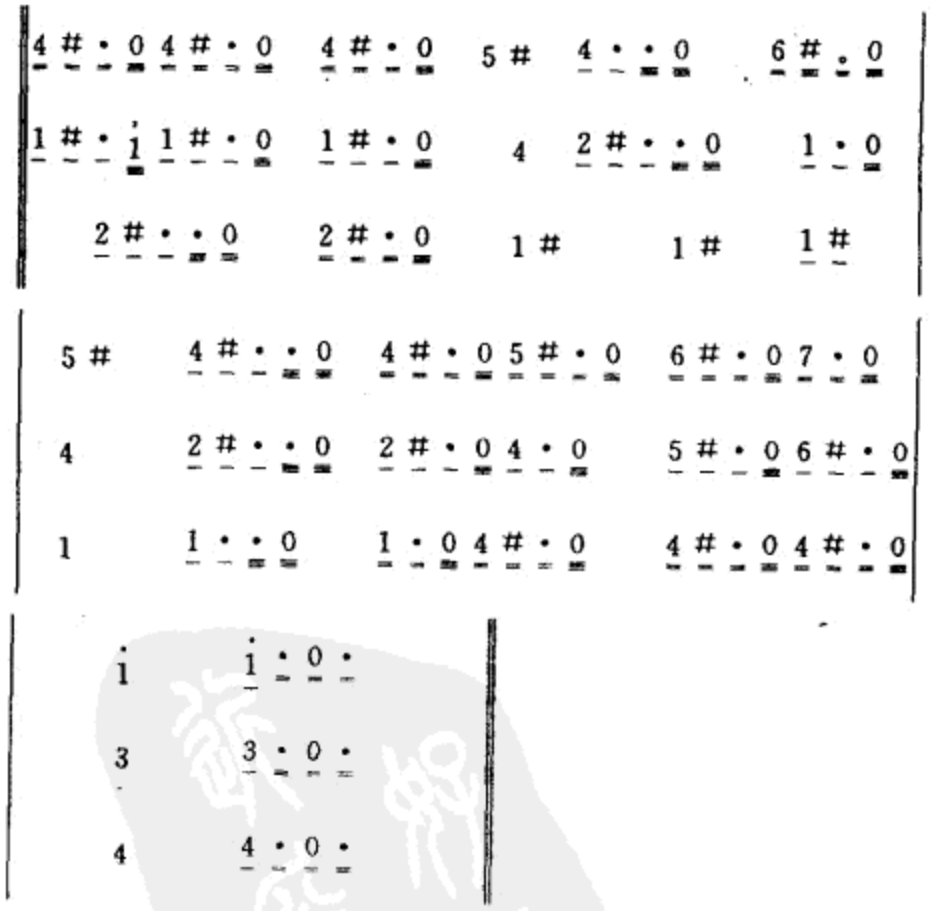
续表

序号	数据				第一主声部音调			第二主声部音调			第三主声部音调		
	一	二	三	音长	4002	4003	音符	4006	4007	音符	400A	400B	音符
6	7C	BC		02	00	00	0	00	00	0			
7	60	9D	D9	16	0C	01	5#	3F	01	4	93	01	1#
8	7C	BC		02	00	00	0	00	00	0			
9	5D	9B		0E	3F	01	4	67	01	2#			
10	7C	BC		02	00	00	0	00	00	0			
11	62	98		06	EE	00	6#	AB	01	1			
12	7C	BC		02	00	00	0	00	00	0			
13	60	9D	D8	16	0C	01	5#	3F	01	4	AB	01	1
14	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
15	5D	9B	D8	0E	3F	01	4	67	01	2#	AB	01	1
16	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
17	5E	9B	D8	06	2D	01	4#	67	01	2#	67	01	2#
18	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
19	60	9D	DE	06	0C	01	5#	3F	01	4	2D	01	4#
20	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
21	62	A0	DE	06	EE	00	6#	0C	01	5#	2D	01	4#
22	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
23	63	A2	DE	06	E1	00	7	EE	00	6#	2D	01	4#

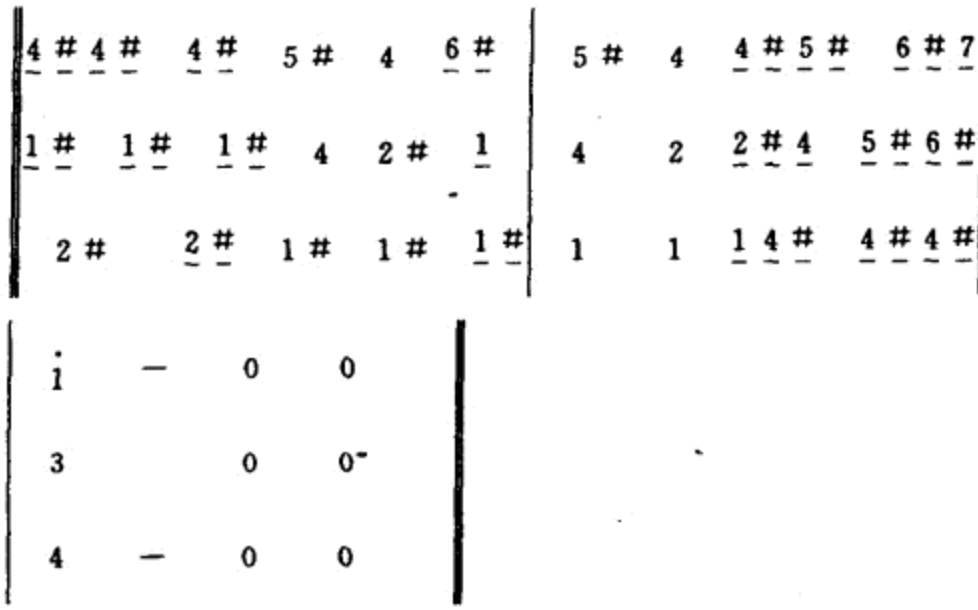
续表

序号	数据				第一主声部音调			第二主声部音调			第三主声部音调		
	一	二	三	音长	4002	4003	音符	4006	4007	音符	400A	400B	音符
24	3F			02	00	00	0	00	00	0	00	00	0
25	64	9C	DD	1E	D4	00	1G	52	01	3	3F	01	4
26				1C									
27	3F			00	00	00	0	00	00	0	00	00	0

若按16个中断周期为一个节拍，则GAME START的音乐旋律如下：



若考虑人耳的听觉惰性，把1/8拍的休止时间并于其前一个音符，则简化的旋律二如下：



读者可把它写入 F BASIC 的 PLAY 语句，聆听演奏效果。

第八节 “旋律三”的发声数据采集和旋律结构

旋律三是比赛失败时，在出现“GAME OVER”画面后的演奏音乐。该段音乐演奏结束后即返回标题画面，演奏旋律一，等待游戏者选择难度和按 START 键开始比赛。

由表 6—2 可知，演奏旋律三时，由 A＝2 调 $F48E 子程序对 $B8～$BD、$C2 发声工作单元赋值，数据区首址为 $F6DB。

旋律三的发声数据在 $F6DB～$F81D 共占 323 个字节，组成 108 组数据，分两段乐章，顺序排列。数据区结构与旋律一完全相同，故数据采集和赋值过程的讨论从略，仅将置数结果叙述如下：在调 $F505 子程序时，执行 $F53D，令

$4000＝3D　　$4001＝7F

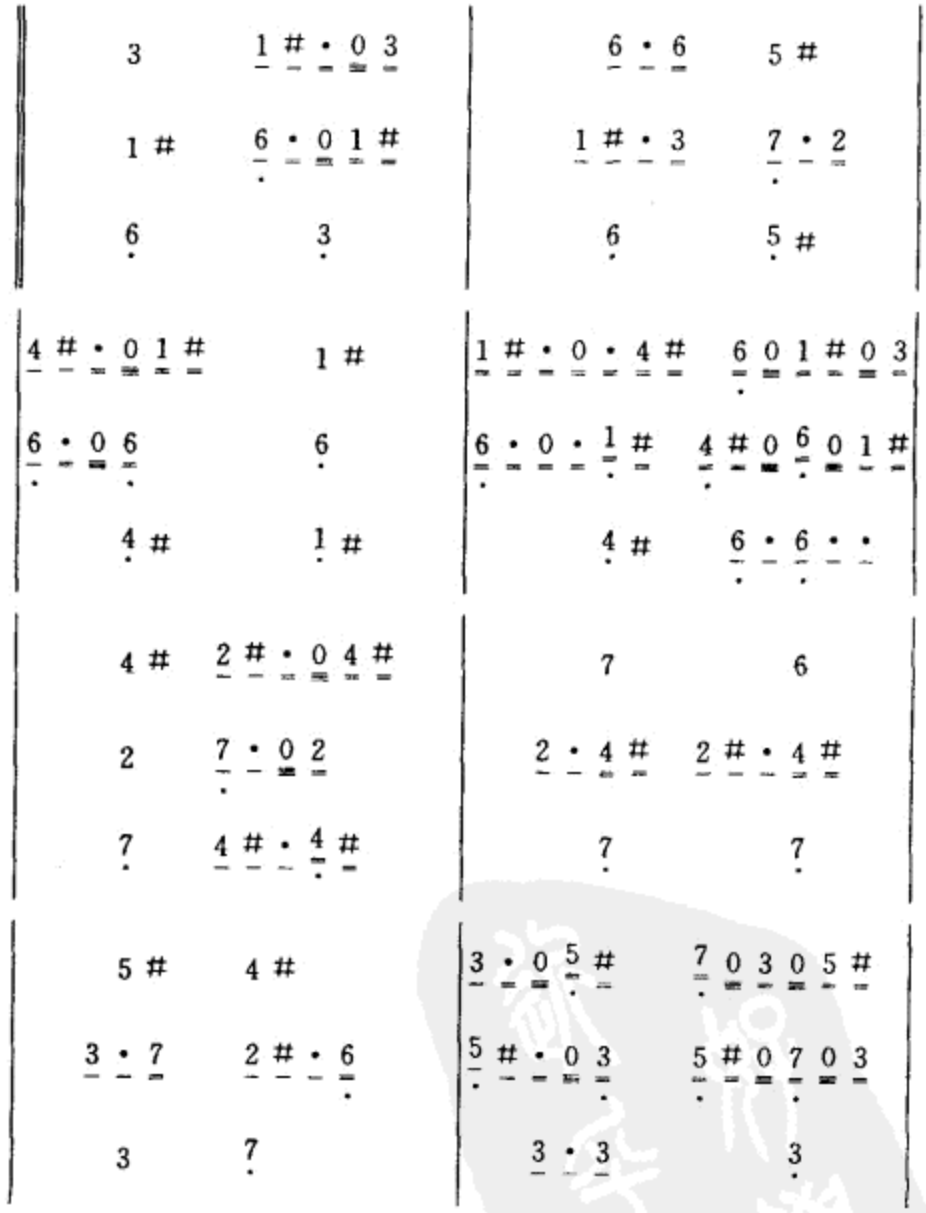
$4004＝3D　　$4005＝7F

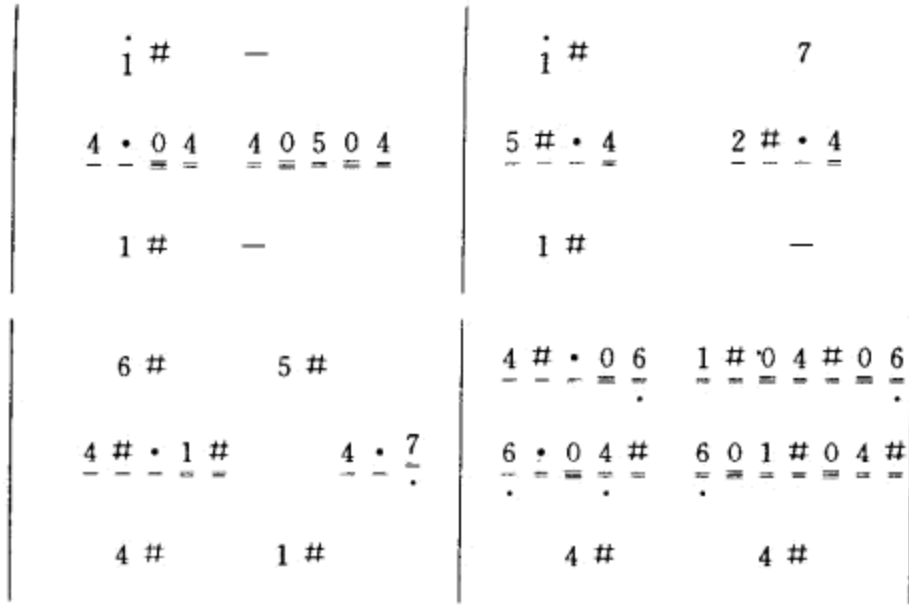
$4008＝FF

一、第一乐章

为压缩篇幅，第一乐章对各声部音调单元的赋值表从略，下面仅给出旋律。

若约定 16 个中断周期为一个拍节，并忽略每一拍后的 1/8 拍的休止时间，第一乐章的旋律如下：

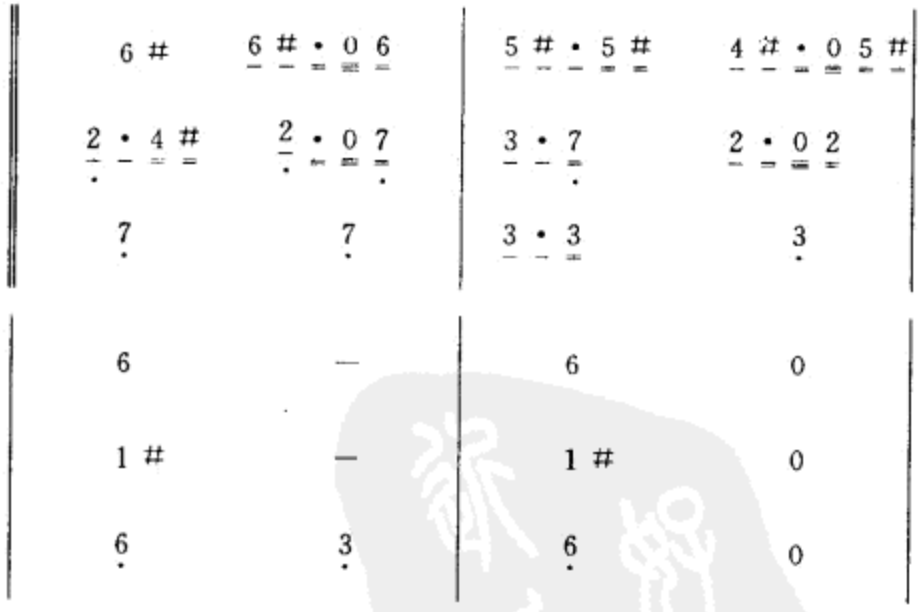




二、第二乐章

第二乐章对各声部音调单元的赋值从略。

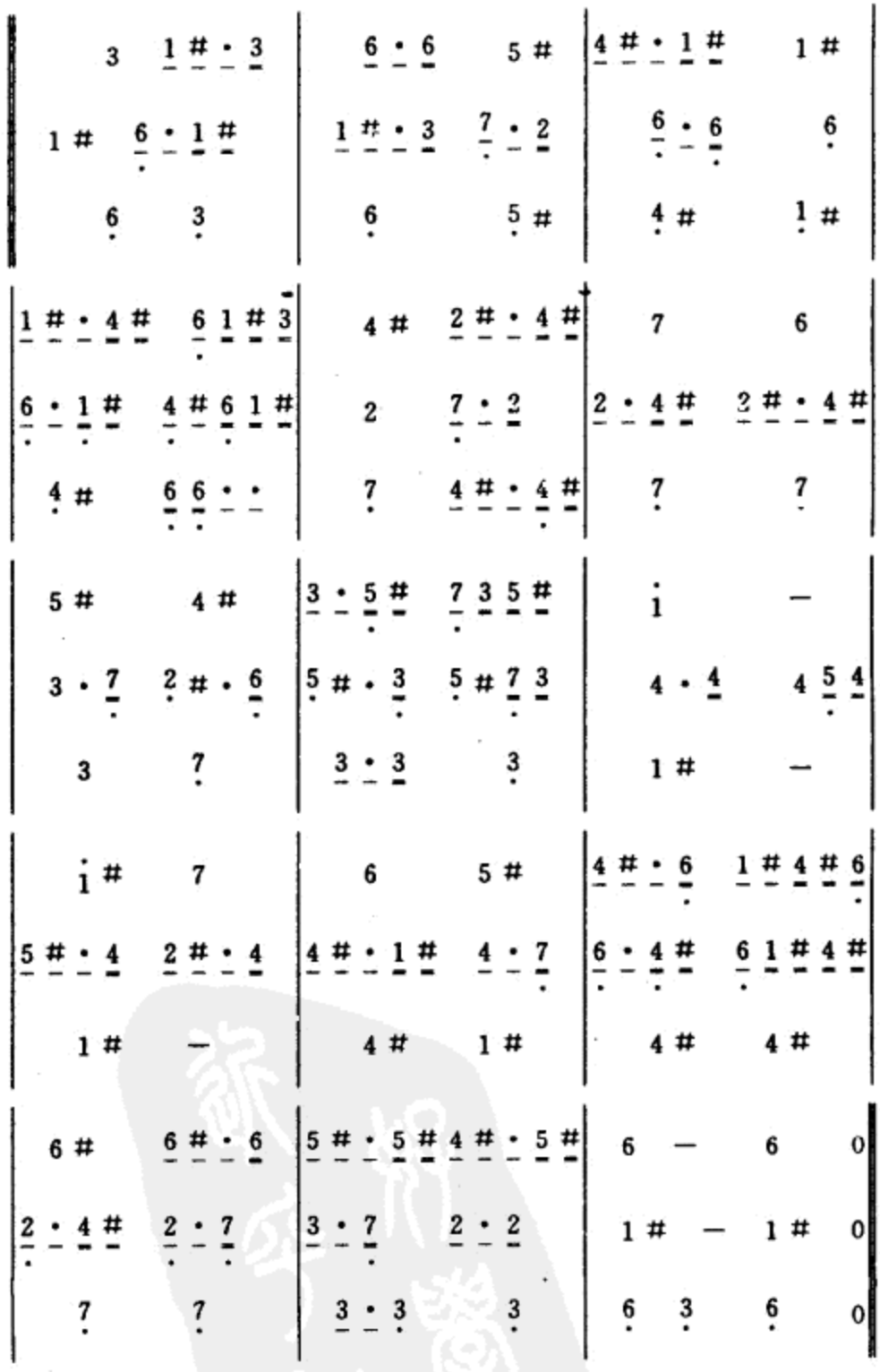
第二乐章的旋律如下：



三、旋律三的简谱

考虑到人耳的听觉惰性，把节拍中的 1/8 拍休止时间加

到前一个音符上，将得到“GAME OVER”时的音乐旋律如下：



第九节　效果音响一～六的发声数据采集和旋律结构

上一节讨论了音乐旋律的旋律结构和演奏过程，由分析可见，音乐旋律的演奏编程无非是：首先谱出三重奏乐谱，然后对照乐谱查出各声部的音调值并配以时值后置入数据区。显然音乐旋律编程有章可循，似乎容易一些。相比之下，效果音响的编程要困难的多。以上曾对《大赛车》游戏中赛车发动机的"突突"声、加减速声、超车声已进行了较详细的讨论，由此以对效果音响的编程难度和技巧略窥一斑。本节重点讨论效果音响一～六发声数据的采集过程和旋律结构特点。

一、刹车声的发声数据采集和旋律结构

游戏中，有三个场合应用到刹车声：一个是赛车高速起步(即赛车起步前已按 A 键，使发动机高速运转)赛车轮胎与地面摩擦冒烟时发出的"吱吱"声(效果音响一)；一个是赛车高速行驶中急转弯时的刹车声(效果音响二)，这两种效果音都由 A＝4 调 $F48E 对 $B8～$BB 单元赋值后发出；第三种是赛车行驶到路边时发出的刹车声(效果音响五)，这时的刹车声与前两种稍有不同。前一种刹车声只使用第二声部，而后一种刹车声则使用了第二、第四两个声部。因此，我们称前一种为第一类刹车声、后一种为第二类刹车声。下面先讨论第一类刹车声。

1. 第一类刹车声

第一类刹车声的数据区为 $FA5A～$FA6B 共 18 个数据。发声操作过程如下：

在调$F505子程序时执行$F53D程序段，首先令

$4004＝9D　　$4005＝7F

对第二声部发声音色音量、音形包络单元赋值；然后读取$FA5E以后的数据对第二声部的音调单元赋值，赋值数据见表6－11。

表6－11　第一类刹车声对第二声部音调单元的赋值数据表

序号	数据	音长	$4006	$4007	音符
1	AA	01	96	00	4#G
2	AC	01	85	00	5#G
3	A9	01	9F	00	4G
4	AC	01	85	00	5#G
5	A9	01	9F	00	4G
6	AB	27	8D	00	5G
7		28			
8		0			

若取16个中断周期为一拍，则第一种刹车声的发声旋律为

其F BASIC程序见No·6－9，读者可输入电脑游戏机

体会发声效果。

```
5  REM No. 6－9 第一类刹车声模拟程序
10  POKE &4015,2
20  POKE &4004, &9D, &7F, &96, 0 : PAUSE 1
30  POKE &4004, &9D, &7F, &85, 0 : PAUSE 1
40  POKE &4004, &9D, &7F, &9F, 0 : PAUSE 1
50  POKE &4004, &9D, &7F, &85, 0 : PAUSE 1
60  POKE &4004, &9D, &7F, &9F, 0 : PAUSE 1
70  POKE &4004, &9D, &7F, &8D, 0 : PAUSE 50
```

2. 第二类刹车声

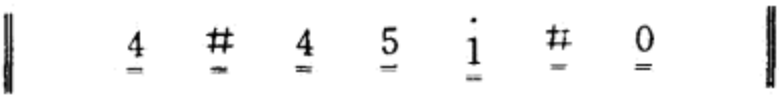
第二类刹车声由 A＝7 调 $F48E 对 $B8～ $BB 赋值后，在调 $F505 子程序时，执行 $F53D 由第二、四声部联合发出。

第二声部的发声数据区为 $FAC0～ $FAD0 共 17 个数据，执行 $F53D，首先令 $4004＝3F、$4005＝7F；然后，对第二声部音调单元 $4006、$4007 赋值，数据见表 6－12。

表 6－12　第二类刹车声对第二声部音调单元的赋值数据表

序号	数据	音长	$4006	$4007	音符
1	9E	01	2D	01	4#
2	BC		00	00	0
3	9D	01	3F	01	4
4	BC		00	00	0
5	9F	01	1C	01	5
6	BC		00	00	0
7	A5	01	C8	00	1#G
8	BC	0	00	000	

发声旋律为



发声的 F BASIC 模拟程序见 No·6－10。

```
5  REM No. 6－10 第二类刹车声模拟程序
10  POKE &4015，15
20  POKE &4004，&3F，&7F，&2D，1 ：PAUSE 1
30  POKE &4004，&3F，&7F，0，0 ：PAUSE 1
40  POKE &4004，&3F，&7F，&3F，1 ：PAUSE 1
50  POKE &4004，&3F，&7F，0，0 ：PAUSE 1
60  POKE &4004，&3F，&7F，&1C，1 ：PAUSE 1
70  POKE &4004，&3F，&7F，0，0 ：PAUSE 1
80  POKE &4004，&3F，&7F，&C8，1 ：PAUSE 1
90  POKE &4004，&3F，&7F，0，0 ：PAUSE 1
100  END
```

第四声部的发声赋值由 $C2＝1，执行 $FBF4 子程序，令

$400C＝0　　$400E＝0E

$400F＝88

发出断续的“噗噗”声。

二、赛车爆炸声的发声数据采集和旋律结构

当赛车撞到路桩或与其它赛车相撞时将发出持续 2 秒钟的爆炸声响。爆炸声是由 A＝5 调 $F48E 对 $B8～$BD 单元赋值后，引导第四声部发出的。其数据区在 $FA6C～$FAA3 共占 55 个字节。

在调 $F505 执行 $F53D 时首先令

$4000=B0　　$4004=B0

$4008=0

以关闭第一、第二、第三声部发声的音量；然后对第四声部的音色音量、音形包络单元赋值，令

$400C=3C　　$400E=F

$400F=8

启动第四声部开始发声；以后仅改变$400C单元的音量参数，使发声逐渐衰减，最后关闭音量。其音量变化数据见表6－13。

表6－13　第四声部发爆炸声时音量数据变化表

序号	音长	$400C	$400D	$400E	$400F
1	5	3C		0F	08
2	1	30			
3	8	3F			
4	8	3E			
5	8	3D			
6	8	3C			
7	8	3B			
8	8	3A			
9	8	39			
10	8	38			
11	8	37			
12	8	36			

续表

13	8	35			
14	8	34			
15	8	30			
16	0				

爆炸声的音量变化曲线见图 6—10。

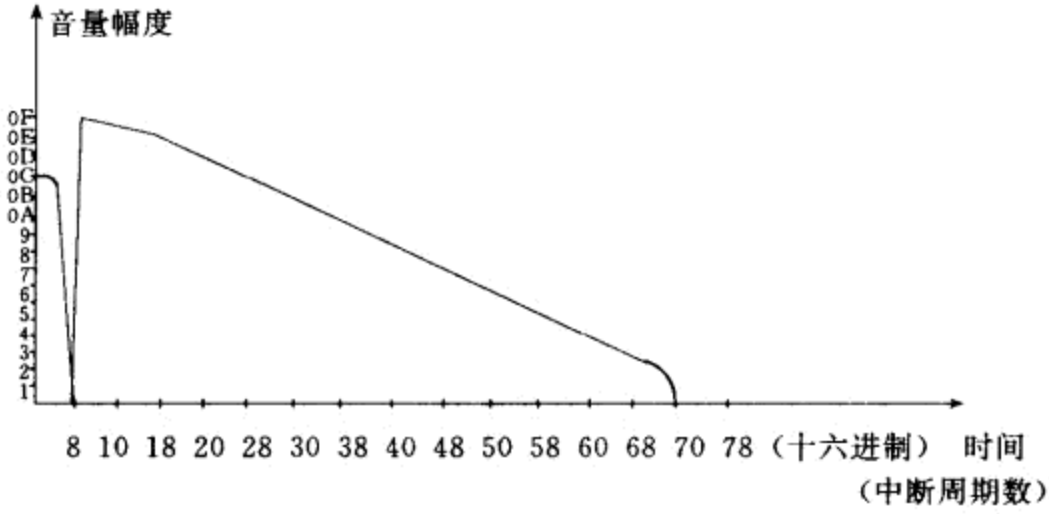


图 6—10 爆炸声音量变化曲线

爆炸声的 F BASIC 模拟程序见 No·6—11。

```
5  REM No. 6—11 爆炸声的模拟程序
10  POKE &4015, 8
20  POKE &400C, &3C, 0, 15, 8 : PAUSE 5
30  POKE &400C, &30 : PAUSE 1
40  POKE &400C, &3F : PAUSE 8
50  POKE &400C, &3E : PAUSE 8
60  POKE &400C, &3D : PAUSE 8
```

```
70  POKE &400C, &3C : PAUSE 8
80  POKE &400C, &3B : PAUSE 8
90  POKE &400C, &3A : PAUSE 8
100  POKE &400C, &39 : PAUSE 8
110  POKE &400C, &38 : PAUSE 8
120  POKE &400C, &37 : PAUSE 8
130  POKE &400C, &36 : PAUSE 8
140  POKE &400C, &35 : PAUSE 8
150  POKE &400C, &34 : PAUSE 8
160  POKE &400C, &30 : PAUSE 8
170  END
```

三、发令声数据的采集和旋律结构

比赛画面绘制完毕后，画面中间挖出一块黑色的矩形，矩形中显示四个长条，最下面的一个长条首先变成红色，同时发出一声音调较低的“嘟”声；延时一段时间后，红色长条上跳一格，发出第二个“嘟”声；延时一段时间又上跳一格，第二个长条发红，发第三个“嘟”声；延时一段时间后，第一个长条发红，发出一声高音调的“笛”声，比赛开始。

发令声由 A＝6 调 $F48E 对 $B8～$BD 单元赋值后，在调 $F505 中执行 $F53D 对第二声部的音调单元赋值，发出断续的四声发令声响。发令声数据区在 $FAA4～$FABF 共占 28 个字节，这段数据区的结构较以上发声的数据区结构复杂，下面予以详细讨论。

1. 执行 $F53D，首先令

$4004＝3F　　$4005＝7F

设置第二声部发声；然后读出 $FAA8 单元的数据为

36H，故执行$F616子程序，将36H后面$FAA9中的数据03存入$1DD单元，令$B9+1后将$B9、$BA单元的取数地址分别存入$1DE、$1DF，有

$1DD=03　　$1DE=AA

$1DF=FA

再令$BB-3使其指向$1DD，转$F53D继续读数。$FAAA单元的数据仍为36H，故第二次执行$F616子程序，有

$1DA=08　　$1DB=AC

$1DC=FA　　$BB=0A

2. 转$F53D继续读数。现在$FAAC=9E，则令

$4006=2D　　$1C6=2D

$4007=01　　$1C7=01

$BC=01

令第二声部发“4#”音，发声时间是0.02秒。

在下一次中断调$F505时，因$FAAE=3A，故执行$F657子程序，读出$FAAF单元中的数据与原置入$4006单元的数据相加，将和再置入$4006单元，有

$1C6+4=2D+4=31

$4006=31　　$1C6=31

因$1C7=1故不重向$4007置数，直接转$F537令$B9+1后继续读数。因$FAB0=1，故$BC=1，令第二声部发“5”音0.02秒。

3. 第三次调$F505时因$FAB1=37，故执行$F63A子程序，以$BB变址，令$1DA单元的数据减一后对$1DA进行检查：若$1DA=0，则令$BB+3后转$F537继续读数；若$1DA>0则从$1DB、$1DC中取出最近一次保存的

取数地址指针置入$B9、$BA单元，转$F53D继续读数。当前最近保存的地址指针在$1DB、$1DC中，故令$B9、$BA单元指向$FAAC。因$FAAC=9E，故又重复2、3步的操作。

4. 直到经过8次2、3步的循环操作，在执行$F63A时、$1DA=0，转$F64E令$BB+3，返回$F537令$B9+1后读出$FAB2中的数据等于BCH时，则令$4006=0、$4007=0，结束第二声部的发声。暂停时间由$FAB3、$FAB4单元中的数据1EH+12H=30H置入$BC单元控制，显然暂停时间为48个中断周期(0.8秒钟)。

通过以上四步处理，第二声部发出了第一个发令声"嘟"音，其音调数据变化见表6-14。

表6-14 前三个发令"嘟"声的音调变化统计表

序号	S1DA	数据	音长	$4006	$4007	音符
1	8	9E	1	2D	01	4#
2	8		1	31	01	5
3	7	9E	1	2D	01	4#
4	7		1	31	01	5
5	6	9E	1	2D	01	4#
6	6		1	31	01	5
7	5	9E	1	2D	01	4#
8	5		1	3	01	5
9	4	9E	1	2D	01	4#

续表

序号	S1DA	数据	音长	$4006	$4007	音符
10	4		1	31	01	5
11	3	9E	1	2D	01	4#
12	3		1	31	01	5
13	2	9E	1	2D	01	4#
14	2		1	31	01	5
15	1	9E	1	2D	01	4#
16	1		1	31	01	5
17	0	BC	1E	C0	00	0
18	0		12	00	00	0

5. 暂停时间结束后，接$FAB5继续读数，因$FAB5=37，故又执行$F63A子程序，以$BB变址令$1DD－1后对$1DD进行检查判断：若$1DD＞0，则从$1DE、$1DF单元中取出原保存的取数地址指针$FAAA置入$B9、$BA单元，转F53D继续读数，重复2～5步的操作，以发出第二、第三个“嘟”声；当三个“嘟”声发声完毕后，$1DD=0，故令$BB+3，转F537令$B9+1，使其指向$FAB6继续读数。

6. 因$FAB6=36故执行$F616子程序，保存有关单元数据如下：

$1DD=$FAB7=20

$1DE=B8　　$1DF=FA

$BB=0D

转$F53D继续读数。

7. 因$FAB8=AA故对第二声部音调单元赋值为

$4006=96　　$1C6=96

$4007=0　　$1C7=0

使第二声部发“4#”音，发声时间为$BC=$FAB9=1(0.02秒)。

8. 下一次中断读$FABA单元时数据为3AH，于是执行$F657子程序令

$1C6+$FABB=96+1=97

$4006=97

$1C6=97

发声时间($BB=$FABC=1)0.02秒。

9. 继续读数时，$FABD=37，故执行$F63A子程序，令$1DD−1后对$1DD单元进行检查判断：若$1DD>0则取出$1DE、$1DF单元保存的取数地址指针$FAB8置入$B9、$BA单元转$F53D继续读数，重复7～9步的操作；若$1DD=0则令$BB+3，转$F537令$B9+1后读取$FABE单元的数据BCH，故执行$F545子程序令$4006=0、$4007=0结束第二声部发声。

通过以上讨论可见，发令声中的前三个“嘟”声发声时间较短(约0.3秒)，最后一个“笛”声的发声时间较长(约0.6秒)。“嘟”声令音调细调单元$4006的数据在2DH、31H间交替变化，“笛”声则令$4006的数据在96H、97H之间交替变化。这样设计的目的是令发出的声音产生颤抖的效果。我们可以使用F BASIC语句模拟这一发声，见程序No.6−12。

```
5  REM No.6−12 发令声模拟程序
10  POKE &4015, 15
```

```
20  FOR I = 1 TO 3
30  FOR J = 0 TO 8
40  POKE &4004, &35, &7F, &2D, 1 : PAUSE 1
50  POKE &4004, &35, &7F, &31, 1 : PAUSE 1
60  NEXT
70  POKE &4006, 0, 0 : PAUSE 50
80  NEXT
90  FOR I = 0 TO 32
100  POKE &4004, &35, &7F, &96, 0 : PAUSE 1
110  POKE &4004, &35, &7F, &97, 0 : PAUSE 1
120  NEXT
130  POKE &4004, &35, &7F, 0, 0
140  END
```

四、暂停音响的发声数据采集与旋律结构

游戏比赛中按 START 键，则发出一串较清脆的音响，暂停比赛。这一发声由 A＝8 调 $F48E 对 $B8～$BD 单元赋值后，由第一声部发出的。发声数据在 $FAD1～$FAE7 共占 23 个字节。

发声数据的采集与赋值过程如下：

调 $F505，执行 $F53D 令

$4000＝3F

$4002＝0　　$4003＝0

$4006＝0　　$4007＝0

$400A＝0　　$400B＝0

$400C＝30

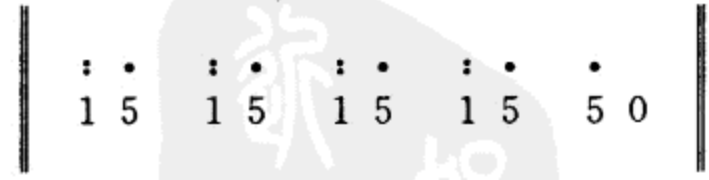
以后的发声赋值过程与三个主旋律的相同，不多赘述，

仅将音调单元的数据列于表 6－15。

表 6－15　第一声部发暂停音响时对音调单元的赋值

序号	数据	音长	$4002	$4003	音符
1	3F		00	00	0
2	70	05	69	00	1GG
3	6B	05	8D	00	5G
4	70	05	69	00	1GG
5	6B	05	8D	00	5G
6	70	05	69	00	1GG
7	6B	05	8D	00	5G
8	70	05	69	00	1GG
9	6B	0A	8D	00	5G
10	3F	0	00	00	0

若取 10 个中断周期为一拍，则暂停音响的发声旋律如下：



第十节　《大赛车》旋律演奏方法的应用

通过本章的讨论可见，任天堂游戏中音乐、效果音响旋律的谱写与一般乐曲截然不同。游戏中的音乐旋律虽然读起

来拗口，但演奏起来却又那么悦耳动听、顺理成章，效果音响又是那么切实逼真、浑然天成。这应该说是任天堂游戏编程中的一绝。我们只有对任天堂游戏软件多读多模仿，才能逐渐掌握编程真缔。

本节将使用旋律一的数据地址，使用 $F53D 赋值程序，为标题画面谱写一首新的背景音乐。日本动画片《铁臂阿童木》的主题歌是一首热情欢快的歌曲，我们就以它为蓝本改编移植到《大赛车》游戏的标题音乐中。

一、改编乐谱

改编的《阿童木之歌》的三重奏旋律简谱如下：

3	3	3	4	4 #		5	—	0 5		4 # 5	
7 #	7 #	7 #	1	1 #		2	3 2	3 2		1 # 2	
3	3	2	5			1	3	5		3	
6	6	6	7			5	—	—		6 5	
3	3	3	4	5		3	4 3	4 3		4 3	
1	3	5	3			2	1	7		3	
2	—	—	6 5			3	—	—		4 3	
6	7 6	7 6	4 3			7	1 # 7	1 # 7		2 1	

1		3			2		3			2		1		7	#		1		
2		3		4	#	5		6		5		—		—			0		
7		6			5	6		7		6		7	6		7	6		7	6
5		5			7	#		5	#	2		1			7			1	
3		3			3		4		4	#		5		—		0	5		4	#	5
7	#	7	#		7	#	1		1	#		2		3	2		3	2		1	#	2
3		3			2		5					1		3			5			3		
6		6			6		7		1			3		—		—			4	3	
3		3			3		4		5			7		1	7		1	7		1	7	
1		3			5		3					2		1			7			3		
2		—			7				3	2		1		—			5		4	#	5
6		7	6		3				7	6		5		6	5		3		2	#	3
1		3			2		3					2		1			7	#		1		
6		6			7		6		5			1		—		—				0		

3		3		4 #		3		2 #	7 6		5 4		3 2	1 1
5		5		7 #		5 #			2		1		7	1

二、转换音符

音乐旋律改编完毕，下一步的工作就是把乐谱音符转换为发声数据，方法如下：

确定每一节拍的时值(即音长)，为了与原旋律的演奏速度一致，仍选 16 个中断周期为一拍；

三个声部按音符的最短节拍为依据确定音长数据，某一声部变换音符时令其休止 2 个中断周期(使用 7CH、BCH、FCH)，休止的时间加到前一个音符中；当三个声部同时变换音符时则令休止数据为 3FH。

为利于分析，特把音符、数据的转换过程列于表 6－16。

表 6－16 《阿童木之歌》旋律数据转换汇总表

音节	第一主声部		第二主声部		第三主声部		发声数据			音长数据	数组序号
	音符	节拍	音符	节拍	音符	节拍	一	二	三		
第一	3	一拍	7#D	一拍	3D	一拍	5C	98	D0	0E	1
									3F	02	2
	3	一拍	7#D	一拍	3	一拍	5C	98	DC	0E	3
									3F	02	4
	3	半拍	7#D	半拍	2D	一拍	5C	98	CE	06	5
							7C	BC		02	6
	4	一拍	1	一拍			5D	98		06	7
									FC	02	8

续表

音节	第一主声部		第二主声部		第三主声部		发声数据			音长数据	数组序号
	音符	节拍	音符	节拍	音符	节拍	一	二	三		
					5	一拍			DF	06	9
							7C	BC		02	10
	4#	半拍	1#	半拍			5E	99		06	11
									3F	02	12
第二	5	二拍	2	一拍	1D	一拍	5F	9A	CC	0E	13
								BC	FC	02	14
			3	半拍	3	一拍		9C	DC	06	15
								BC		02	16
			2	半拍				9A		06	17
									3F	02	18
	0	半拍	3	半拍	5D	一拍		9C	D3	06	19
								BC		02	20
	5	半拍	2	半拍			5F	9A		06	21
									3F	02	22
	4#	半拍	1#	半拍	3	一拍	5E	99	DC	06	23
							7C	BC		02	24
	5	半拍	2	半拍			5F	9A		06	25
									3F	02	26
第三	6	一拍	3	一拍	1	一拍	61	9C	D8	0E	27
									3F	02	28
	6	一拍	3	一拍	3	一拍	61	9C	DC	0E	29
									3F	02	30
	6	半拍	3	半拍	5	一拍	61	9C	DF	06	31

续表

音节	第一主声部		第二主声部		第三主声部		发声数据			音长数据	数组序号
	音符	节拍	音符	节拍	音符	节拍	一	二	三		
第三							7C	BC		02	32
	7	一拍	4	一拍			63	9D		06	33
									FC	02	34
					3	一拍			DC	06	35
							7C	BC		02	36
	1G	半拍	5	半拍			64	9F		06	37
									3F	02	38
	5	三拍	3	一拍	2	一拍	5F	9C	DA	0E	39
								BC	FC	02	40
			4	半拍	1	一拍		9D	D8	06	41
								BC		02	42
			3	半拍				9C		06	43
								BC	FC	02	44
			4	半拍	7D	一拍		9D	D7	06	45
								BC		02	46
			3	半拍				9C		06	47
									3F	02	48
	6	半拍	4	半拍	3G	一拍	61	9D	E8	06	49
							7C	BC		02	50
	5	半拍	3	半拍			5F	9C		06	51
									3F	02	52
	2	三拍	6D	一拍	1	一拍	5A	95	D8	0E	53
								BC	FC	02	54

续表

音节	第一主声部		第二主声部		第三主声部		发声数据			音长数据	数组序号
	音符	节拍	音符	节拍	音符	节拍	一	二	三		
第五			7D	半拍	3	一拍		97	DC	06	55
								BC		02	56
			6D	半拍				95		06	57
								BC	FC	02	58
			7D	半拍	2D	一拍		97	CE	06	59
								BC		02	60
			6D	半拍				95		06	61
									3F	02	62
	6	半拍	4	半拍	3	一拍	61	9D	DC	06	63
							7C	BC		02	64
	5	半拍	3	半拍			5F	9C		06	65
									3F	02	66
第六	3	三拍	7D	一拍	2	一拍	5C	97	DA	0E	67
								BC	FC	02	68
			1#	半拍	1	一拍		99	D8	06	69
								BC		02	70
			7D	半拍				97		06	71
								BC	FC	02	72
			1#	半拍	7D#	一拍		99	D8	06	73
								BC		02	74
			7#D	半拍				98		06	75
									3F	02	76
	4	半拍	2	半拍	1	一拍	5D	9A	D8	06	77

续表

音节	第一主声部		第二主声部		第三主声部		发声数据			音长数据	数组序号
	音符	节拍	音符	节拍	音符	节拍	一	二	三		
第六							7C	BC		02	78
	3	半拍	1	半拍			5C	98		06	79
									3F	02	80
第七	2	一拍	7D	一拍	5D	一拍	5A	97	D3	0E	81
									3F	02	82
	3	一拍	6D	一拍	5	一拍	5C	95	DF	0E	83
									3F	02	84
	4#	半拍	5D	半拍	7#D	一拍	5E	93	D8	06	85
							7C	BC		02	86
	5	一拍	6D	一拍			5F	95		06	87
									FC	02	88
					5#	一拍			E0	06	89
							7C	BC		02	90
	6	半拍	7D	半拍			61	97		06	91
									3F	02	92
第八	5	三拍	6D	一拍	2	一拍	5F	95	DA	0E	93
								BC	FC	02	94
			7D	半拍	1	一拍		97	D8	06	95
								BC		02	96
			6D	半拍				95		06	97
								BC	FC	02	98
			7D	半拍	7D	一拍		97	D7	06	99
								BC		02	100

续表

音节	第一主声部		第二主声部		第三主声部		发声数据			音长数据	数组序号
	音符	节拍	音符	节拍	音符	节拍	一	二	三		
第八			6D	半拍				95		06	101
									3F	02	102
	0	一拍	7D	半拍	1	一拍		97	D8	06	103
								BC		02	104
			6D	半拍				95		06	105
									3F	02	106
第九	3	一拍	7#D	一拍	3D	一拍	5C	98	D0	0E	107
									3F	02	108
	3	一拍	7#D	一拍	3	一拍	5C	98	DC	0E	109
									3F	02	110
	3	半拍	7#D	半拍	2D	一拍	5C	98	CE	06	111
							7C	BC		02	112
	4	一拍	1	一拍			5D	98		06	113
									FC	02	114
					5	一拍			DF	06	115
							7C	BC		02	116
	4#	半拍	1#	半拍			5E	99		06	117
									3F	02	118
第十	5	二拍	2	一拍	1D	一拍	5F	9A	CC	0E	119
								BC	FC	02	120
			3	半拍	3	一拍		9C	9C	06	121
								BC		02	122
			2	半拍				9A		06	123

续表

音节	第一主声部		第二主声部		第三主声部		发声数据			音长数据	数组序号
	音符	节拍	音符	节拍	音符	节拍	一	二	三		
第十									3F	02	124
	0	半拍	3	半拍	5D	一拍		9C	D3	06	125
								BC		02	126
	5	半拍	2	半拍			5F	9A		06	127
									3F	02	128
	4#	半拍	1#	半拍	3	一拍	5E	99	DC	06	129
							7C	BC		02	130
	5	半拍	2	半拍			5F	9A		06	131
									3F	02	132
第十一	6	一拍	3	一拍	1	一拍	61	9C	D8	0E	133
									3F	02	134
	6	一拍	3	一拍	3	一拍	61	9C	DC	0E	135
									3F	02	136
	6	半拍	3	半拍	5	一拍	61	9C	DF	06	137
							7C	BC		02	138
	7	一拍	4	一拍			63	9D		06	139
									FC	02	140
					3	一拍			DC	06	141
							7C	BC		02	142
	1G	半拍	5	半拍			64	9F		06	143
									3F	02	144

续表

音节	第一主声部		第二主声部		第三主声部		发声数据			音长数据	数组序号
	音符	节拍	音符	节拍	音符	节拍	一	二	三		
第十二	3G	三拍	7	一拍	2	一拍	68	A3	DA	0E	145
								BC	FC	02	146
			1G	半拍	1	一拍		A4	D8	06	147
									BC	02	148
			7	半拍				A3		06	149
								BC	FC	02	150
			1G	半拍	7D	一拍		A4	D7	06	151
								BC		02	152
			7	半拍				A3		06	153
									3F	02	154
	4G	半拍	1G	半拍	3G	一拍	69	A4	E8	06	155
							7C	BC		02	156
	3G	半拍	7	半拍			68	A3		06	157
									3F	02	158
第十三	2G	二拍	6	一拍	1	一拍	66	A1	D8	0E	159
								BC	FC	02	160
			7	半拍	3	一拍		A3	DC	06	161
								BC		02	162
			6	半拍				A1		06	163
									3F	02	164
	6	一拍	3	一拍	2D	一拍	61	9C	CE	06	165
									3F	02	166
	3G	半拍	7	半拍	3	一拍	68	A3	DC	06	167

续表

音节	第一主声部		第二主声部		第三主声部		发声数据			音长数据	数组序号
	音符	节拍	音符	节拍	音符	节拍	一	二	三		
第十三							7C	BC		02	168
	2G	半拍	6	半拍			66		A1	06	169
第十四									3F	02	170
	1G	二拍	5	一拍	2	一拍	64	9F	DA	0E	171
								BC	FC	02	172
			6	半拍	1	一拍	A1			06	173
								BC		02	174
			5	半拍				9F		06	175
									3F	02	176
	5	一拍	3	一拍	7#D	一拍	5F	9C	CC	0E	177
									3F	02	178
	4#	半拍	2#	半拍	1	一拍	5E	9B	D8	06	179
							7C	BC		02	180
	5	半拍	3	半拍			5F	9C		06	181
									3F	02	182
第十五	6	一拍	3	一拍	5D	一拍	61	9C	D3	0E	183
									3F	02	184
	6	一拍	3	一拍	5	一拍	61	9C	DF	0E	185
									3F	02	186
	7	半拍	4#	半拍	7#D	一拍	63	9E	D8	06	187
							7C	BC		02	188
	6	一拍	3	一拍			61	9C		06	189
									FC	02	190

续表

音节	第一主声部		第二主声部		第三主声部		发声数据			音长数据	数组序号
	音符	节拍	音符	节拍	音符	节拍	一	二	三		
第十五					5#	一拍			E0	06	191
							7C	BC		02	192
	5	半拍	2#	半拍			5F	9B		06	193
									3F	02	194
第十六	1G	三拍	7	半拍	2	一拍	64	A3	DA	06	195
								BC		02	196
			6	半拍				A1		06	197
								BC	FC	02	198
			5	半拍	1	一拍		9F	D8	06	199
								BC		02	200
			4	半拍				9D		06	201
								BC	FC	02	202
			3	半拍	7D	一拍		9C	D7	06	203
								BC		02	204
			2	半拍				9A		06	205
									3F	02	206
	0	一拍	1	一拍	1	一拍		98	D8	10	207
									3F	00	208

三、编写数据区

把表 6－16 中的数据写入标题画面旋律数据区，从 $F829 开始依次写入。数据如下：

F81E　　20 3E

F820 21 7F 24 7D 25 7F 28 FF 3F

第一音节数据

F829 5C 98 D0 0E 3F 02 5C
F830 98 DC 0E 3F 02 5C 98 CE 06 7C BC 02 5D 98 06 FC
F840 02 DF 06 7C BC 02 5E 99 06 3F 02

第二音节数据

F85B 5F 9A CC 0E BC
F850 FC 02 9C DC 06 BC 02 9A 06 3F 02 9C D3 06 BC 02
F860 5F 9A 06 3F 02 5E 99 DC 06 7C BC 02 5F 9A 06 3F
F870 02

第三音节数据

F871 61 9C D8 0E 3F 02 61 9C DC 0E 3F 02 61 9C DF
F880 06 7C BC 02 63 9D 06 FC 02 DC 06 7C BC 02 64 9F
F890 06 3F 02

第四音节数据

F893 5F 9C DA 0E BC FC 02 9D D8 06 BC 02 9C
F8A0 06 BC FC 02 9D D7 06 BC 02 9C 06 3F 02 61 9D E8
F8B0 06 7C BC 02 5F 9C 06 3F 02

第五音节数据

F8B9 5A 95 D8 0E BC FC 02
F8C0 97 DC 06 BC 02 95 06 BC FC 02 97 CE 06 BC 02 95
F8D0 06 3F 02 61 9D DC 06 7C BC 02 5F 9C 06 3F 02

第六音节数据

F8DF 5C
F8E0 97 DA 0E BC FC 02 99 D8 06 BC 02 97 06 BC FC 02
F8F0 99 D8 06 BC 02 98 06 3F 02 5D 9A D8 06 7C BC 02
F900 5C 98 06 3F 02

第七音节数据

F905 5A 97 D3 0E 3F 02 5C 95 DF 0E 3F
F910 02 5E 93 D8 06 7C BC 02 5F 95 06 FC 02 E0 06 7C
F920 BC 02 61 97 06 3F 02

第八音节数据

F927 5F 95 DA 0E BC FC 02 97 D8
F930 06 BC 02 95 06 BC FC 02 97 D7 06 BC 02 95 06 3F
F940 02 97 D8 06 BC 02 95 06 3F 02

第九音节数据

F94A 5C 98 D0 0E 3F 02
F950 5C 98 DC 0E 3F 02 5C 98 CE 06 7C BC 02 5D 98 06
F960 FC 02 DF 06 7C BC 02 5E 99 06 3F 02

第十音节数据

F96C 5F 9A CC 0E
F970 BC FC 02 9C 9C 06 BC 02 9A 06 3F 02 9C D3 06 BC
F980 02 5F 9A 06 3F 02 5E 99 DC 06 7C BC 02 5F 9A 06
F990 3F 02

第十一音节数据

F992 61 9C D8 0E 3F 02 61 9C DC 0E 3F 02 61 9C
F9A0 DF 06 7C BC 02 63 9D 06 FC 02 DC 06 7C BC 02 64
F9B0 9F 06 3F 02

第十二音节数据

F9B4 68 A3 DA 0E BC FC 02 A4 D8 06 BC 02
F9C0 A3 06 BC FC 02 A4 D7 06 BC 02 A3 06 3F 02 69 A4
F9D0 E8 06 7C BC 02 68 A3 06 3F 02

第十三音节数据

F9DA 66 A1 D8 0E BC FC

F9E0 02 A3 DC 06 BC 02 A1 06 3F 02 61 9C CE 06 3F 02
F9F0 68 A3 DC 06 7C BC 02 66 A1 06 3F 02

第十四音节数据

F9FC 64 9F DA 0E
FA00 BC FC 02 A1 D8 06 BC 02 9F 06 3F 02 5F 9C CC 0E
FA10 3F 02 5E 9B D8 06 7C BC 02 5F 9C 06 3F 02

第十五音节数据

FA1E 61 9C
FA20 D3 0E 3F 02 61 9C DF 0E 3F 02 63 9E D8 06 7C BC
FA30 02 61 9C 06 FC 02 E0 06 7C BC 02 5F 9B 06 3F 02

第十六音节数据

FA40 64 A3 DA 06 BC 02 A1 06 BC FC 02 9F D8 06 BC 02
FA50 9D 06 BC FC 02 9C D7 06 BC 02 9A 06 3F 02 98 D8
FA60 10 3F 00

现在运行《大赛车》游戏程序，标题画面出现后将在明快和谐的《阿童木之歌》伴奏下等待游戏者选项。

若把 $C17E 改为

```
C17E   20E0FE     JSR     $FEE0
FEE0   201BC9     JSR     $C91B
FEE3   A903       LDA     #$03
FEE5   208EF4     JSR     $F48E
FEE8   60         RTS
```

则可在《阿童木之歌》的伴奏下进行赛车。

参考书目：

田进勤 《电子乐器》人民邮电出版社 1984.1.

张万春 《电子琴检修大全》福建科学技术出版社 1990.1.

张玉林 《怎样弹简易电子琴》春风文艺出版社 1991.2.

于 春 《F BASIC 语言与编程技巧》电子工业出版社 1993.4.

于 春 《电脑游戏机硬件与编程特技》电子工业出版社 1994.11.

于 春 《任天堂游戏编程探密》电子工业出版社 1995.4.